



Skripsi ME 141501

**STUDY PERBANDINGAN PEMILIHAN BOW THRUSTER DAN
SISTEM SRP UNTUK KEBUTUHAN MANOUVERING
TUGBOAT**

Moch. Fatchur Rochman
NRP. 4214105017

Dosen Pembimbing

1. Ir. H. Agoes Santosa, M.sc., M.Phil.
2. Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD.

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



Final Project ME 141501

**COMPARISON STUDY BETWEEN BOW THRUSTER AND SRP
SYSTEM FOR TUGBOAT MANOUVERING SYSTEM.**

Moch. Fatchur Rochman
NRP. 4214105017

Consellor Lecturer

1. Ir. H. Agoes Santosa, M.sc., M.Phil.
2. Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD.

Department of Marine Engineering
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

LEMBAR PENGESAHAN

STUDY PERBANDINGAN PEMILIHAN BOW THRUSTER DAN SYSTEM SRP UNTUK KEBUTUHAN MANOUVERING TUGBOAT

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Marine Manufacturing and Design (MMD)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MOCHAMMAD FATCHUR ROCHMAN

NRP. 4214 105 017

Disetujui oleh Pembimbing SKRIPSI :

Ir. Agoes Santoso M, Sc., M. Phil

... (

Ir. Tony Bambang M., PGD.

... (

SURABAYA
2016

LEMBAR PENGESAHAN

STUDY PERBANDINGAN PEMILIHAN BOW THRUSTER DAN SYSTEM SRP UNTUK KEBUTUHAN MANOUVERING TUGBOAT

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

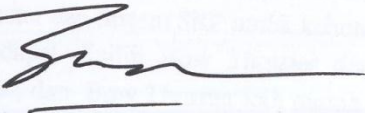
Bidang Studi Marine Manufacturing and Design (MMD)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MOHAMMAD FATCHUR ROCHMAN
NRP. 4214 105 017

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :




Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 197708022008011007

STUDY PERBANDINGAN PEMILIHAN BOW THRUSTER DAN SISTEM SRP UNTUK KEBUTUHAN MANOUVERING TUGBOAT

Nama : Moch. Fatchur Rochman
NRP : 4214105017
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Ir. H. Agoes Santosa, M.Sc., M.Phil.
2. Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD.

ABSTRAK

System SRP merupakan salah satu alat propulsi kapal yang sekaligus alat untuk membantu maneuvering kapal. Pada system SRP ini memiliki mahal harga yang sangat mahal untuk dipasang dikapal. Kemampuan maneuvering kapal sangat dibutuhkan pada pelayaran sempit seperti saat memasuki pelabuhan. Alat penunjang manouevering kapal yang lain adalah Bow Thruster, yang memiliki harga lebih murah untuk dipasang dikapal. Inti dari skripsi ini adalah perbandingan pemilihan Bow Thruster dan Sistem SRP untuk kebutuhan maneuvering tug boat. Dimana dapat dipilih Bow Thruster dengan kemampuan radius putar 11.7 meter, dan Bow Thruster lebih murah dari pada Sistem SRP.

Kata Kunci : *Bow Thruster, Sistem SRP, Manouvering, Tug Boat.*

COMPARISON STUDY BETWEEN BOW THRUSTER AND SRP SYSTEM FOR TUGBOAT MANOUVERING SYSTEM.

Name : Moch. Fatchur Rochman
NRP : 4214105017
Department : Marine Engineering
Consellor Lecturer : 1. Ir. H. Agoes Santosa, M.Sc., M.Phil.
2. Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD.

ABSTRACT

Steerable rudder propeller (SRP) System is one of the equipment in ship to help maneuvering. SRP System is very expensive to be mounted on a ship such as a tugboat. Which a good maneuvering capability is necessary on narrow water when entering a harbour. Another equipment for maneuvering is Bow Thruster. Which it has cheaper if mounted on the boat. the main topic of this thesis is comparison between applied for a selection Bow Thruster and SRP System on the tugboat. Where Bow Thruster can be selected with turning radius 11.7 meters, and Bow Thruster is cheaper than SRP System.

Keyword : *Bow Thruster, SRP System, Manouvering, Tug Boat.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

Halaman Judul_in.....	i
Halaman Judul_en	ii
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	iii
Lembar Pengesahan Ketua Jurusan	iv
Abstrak	v
Abstrack	vi
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi.....	xi
Daftar Gambar	xv
Daftar Tabel.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1Latar Belakang.....	1
1.2Rumusan Masalah	2
1.3Batasan Masalah.....	2
1.4Tujuan Penulisan	3
1.5Manfaat Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Harbour Tug	5
2.2 Tahanan Kapal.....	6

2.3 Gaya Dorong Kapal	7
2.4 Daya Motor.....	8
1. Daya Efektif Kapal (PE).....	8
2. Daya Dorong (PT)	8
3. Daya yang Disalurkan (PD)	9
4. TDaya Poros (PS).....	10
2.5 Bow Thruster	17
2.6 Perhitungan Matematis Bow Thruster	21
2.7 Perhitungan Manouver dengan Bow Thruster	23
2.8 Aspek Pelayaran untuk Bow Thruster	24
2.9 Gaya-Gaya yang Bekerja Saat Melakukan Manouver	25
2.10 Rating Bow Thruster pada Kecepatan Nol	28
2.11 Kelayakan Kapal Menurut IMO dari Segi Manouvering.....	33
2.12 Perhitungan Besarnya Biaya.....	33
BAB III METODOLOGI	35
3.1 Pengolahan Data.....	35
3.2 Perhitungan Daya dan Pemilihan Bow Thruster dan Sistem SRP	35
3.3 Hasil Analisa dan Pemilihan Bow Thruster dan Sistem SRP	35
BAB IV PEMBAHASAN	39
4.1 Data Kapal dari Perancang	39

4.2 Perhitungan Kebutuhan Daya Main Engine Untuk Kapal dengan Bow Thruster	40
4.3 Perhitungan Daya Tug Boat	47
4.4 Pemilihan Propeller	50
4.5 Perhitungan Tahanan Bow Thruster	57
4.6 Kecepatan Belok dengan Bow Thruster	67
4.7 Perhitungan Besarnya Harga pada Tugboat Propeller Biasa + Bow Thruster	71
4.8 Perhitungan Besarnya Harga pada Tugboat Sistem SRP	71
BAB V KESIMPULAN	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran	73
Daftar Pustaka	75
BIOGRAFI	
LAMPIRAN	

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Daftar Gambar

Gambar 2.1 : Harbour Tug	5
Gambar 2.2 : Karakteristik Tahanan Kapal	7
Gambar 2.3 : Gaya-Gaya yang Bekerja pada Sistem Penggerak	10
Gambar 2.4 : Efisiensi pada Komponen Transmisi dari Sistem Propulsi Kapal	15
Gambar 2.5 : Typical Posisi Tunnel Thruster	18
Gambar 2.6 : Typical Tunnel Thruster Placement	19
Gambar 2.7 : Rencana Penutup Thruster	20
Gambar 2.8 : Bentuk Closure Bow Thruster	20
Gambar 2.9 : Aliran Melintang V_j pada Luasan Thrust Reaksi T	27
Gambar 2.10 : Definisi Sket Manouver Memutar	29
Gambar 2.11 : Definisi Sket untuk Menghitung Hidrodinamik ..	30
Gambar 2.12 : Grafik Bow Thruster Thrust	32
Gambar 4.1 : Tugboat dengan Sistem SRP	39
Gambar 4.2 : Tugboat dengan Bow Thruster	40
Gambar 4.3 : CStern	42
Gambar 4.4 : Luasan Diatas Garis Air	58
Gambar 4.5 : Luasan Di Bawah Garis Air	59
Gambar 4.6 : L1 dan L2	61

Gambar 4.7 : L1 dan L2	62
Gambar 4.8 : L1 dan L2	63
Gambar 4.9 : A/Ds	64
Gambar 4.10 : Bs/Ds	65
Gambar 4.11 : R/Ds.....	65
Gambar 4.12 : Sudut Haluan Terhadap Garis Dasar	66
Gambar 4.8 : L1 dan L2	63

Daftar Tabel

Tabel 2.1 : Perkiraan Harga Kapal	34
Tabel 4.1 : Pemilihan Propeller N Mesin/N Prop	52
Tabel 4.2 : Pemilihan Propeller Db/Dmax	52
Tabel 4.3 : Pemilihan Propeller A_e/A_0	55
Tabel 4.4 : Pemilihan Propeller Kavitasi.....	56
Tabel 4.5 : Bow Thruster.....	63
Tabel 4.6 : Kecepatan dan Radius Putar Tugboat dengan Bow Thruster	70
Tabel 4.7 : Harga Permesinan TugBoat dengan Propeller Biasa + Bow Thruster.....	71
Tabel 4.8 : Harga Permesinan Tugboat dengan Sistem SRP	71
Tabel 4.9 : Perbandingan Tugboat antara Propeller Biasa +Bow Thruster dan Sistem SRP	72

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Tug boat adalah kapal yang dapat digunakan untuk melakukan manuver / pergerakan, utamanya menarik atau mendorong kapal lainnya di pelabuhan, laut lepas atau melalui sungai atau terusan. *Tug boat* digunakan pula untuk menarik tongkang, kapal rusak, dan peralatan lainnya. *Tug boat* memiliki tenaga yang besar bila dibandingkan dengan ukurannya. Kapal tunda zaman dulu menggunakan mesin uap, saat ini menggunakan mesin *diesel*. Mesin Induk kapal tunda biasanya berkekuatan antara 750 sampai 5000 HP (500 s.d. 3500 kW), tetapi kapal yang lebih besar (digunakan di laut lepas) dapat berkekuatan sampai 25000 HP.(20 000 kW). Kebanyakan mesin yang digunakan sama dengan mesin kereta api, tetapi di kapal menggerakkan *propeller*.

Kapal tunda sendiri memiliki beberapa jenis diantaranya, *tug boat* konvensional, *tug boat* serbaguna (*Utility Tug*), *tug boat* pelabuhan (*Harbour Tug*). *Tug Boat* sendiri memiliki beberapa tipe penggerak antara lain, *Schottle (Zpeller/SRP)* dimana tipe penggerak ini memiliki kemampuan untuk menggerakkan kapal dengan baik selain itu tipe penggerak ini juga memiliki kemampuan untuk *maneuver* kapal dengan baik meskipun penggerak ini tidak dilengkapi *rudder* untuk membantu dalam proses manourver kapal, penggerak tipe *Zpeller/SRP/Schottle* bisa melakukan *maneuver* kapal 360⁰ pada satu titik putar, tetapi untuk penggerak dengan tipe *Zpeller/SRP/Schottle* ini harganya cukup mahal untuk dipasang pada *tug boat*. Tipe penggerak lain dari *tug boat* adalah *ductpeller*, penggerak tipe ini biasanya dilengkapi dengan cincin yang melingkari

daun *propeller*, cincin ini fungsinya untuk memaksimalkan arah aliran air yang akan di alirkan menuju *propeller*. Penggerak tipe ductpeller ini untuk melakukan *maneuver* dibantu dengan *rudder*, dan penggerak tipe ini kurang memiliki kemampuan *maneuver* yang baik seperti yang dimiliki oleh penggerak tipe *Zpeller/SRP/Schottle*, namun harga dari kapal yang menggunakan penggerak tipe *ductpeller* harganya 50% dari harga kapal yang menggunakan penggerak tipe *Zpeller/SRP/Schottle*. Untuk menunjang *maneuver tugboat* berpengerak *ductpeller* pada pelabuhan-pelabuhan sempit, maka akan dirancang *system bow thruster* untuk kebutuhan *maneuver tug boat* saat memasuki pelabuhan, selanjutnya akan dilakukan study banding pemilihan bow thruster dengan system SRP untuk kebutuhan maneuvering harbor tug.

I.2 Perumusan Masalah

Dengan uraian diatas maka rumusan masalah yang akan dibahas adalah pemilihan bow thruster dengan system SRP untuk kebutuhan maneuvering harbour tug.

I.3 Batasan Masalah:

Dalam pembuatan skripsi ini ada beberapa batasan masalah yang dibahas. Hal ini bertujuan untuk membatasi permasalahan yang ada agar tidak meluas, sehingga pembahasan tujuan dapat terfokus. Batasan-batasan masalah adalah sebagai berikut:

1. Pembahasan hanya terbatas pada pemilihan *bow thruster* dengan system *SRP* pada *tug boat* 33 meter
2. Sistem pendukung dan *system control* tidak termasuk dalam pembahasan

3. Perhitungan system srp tidak dilakukan (mengacu pada data yang diterima dari perancang kapal)
4. Pembahasan tidak membahas peningkatan kemampuan maneuvering antara bow thruster dengan system SRP.
5. Perhitungan radius putar hanya pada bow thruster dengan variasi speed

I.4 Tujuan Penulisan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan ini adalah :

1. Melakukan perhitungan dan pemilihan *Bow Thruster* yang tepat untuk *harbour tug* 33 meter.
2. Mengkaji efektifitas dan ekonomis pemilihan *Bow Thruster* dengan *system SRP* untuk kebutuhan maneuvering harbour tug.

I.5 Manfaat Penulisan

Manfaat dari tugas akhir ini yaitu :

1. Sebagai pengetahuan pemilihan bow thruster dengan sisem SRP untuk kebutuhan manouvering harbour tug.
2. Pola pembanding data acuan pemilihan bow thruster dengan sistem SRP untuk kebutuhan manouvering harbour tug.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB II

TINJUAN PUSTAKA

2.1 Harbour Tug

Kapal tunda adalah kapal yang dapat digunakan untuk melakukan manuver/ pergerakan, utamanya menarik atau mendorong kapal lainnya di pelabuhan, laut lepas atau melalui sungai atau terusan. Kapal tunda digunakan pula untuk menarik tongkang, kapal rusak, dan peralatan lainnya.



1Gambar 2.1 : Harbour Tug

Kapal tunda memiliki tenaga yang besar bila dibandingkan dengan ukurannya. Kapal tunda zaman dulu menggunakan mesin uap, saat ini menggunakan mesin diesel. Mesin Induk kapal tunda biasanya berkekuatan antara 750 sampai 5000 tenaga kuda (500 s.d. 3500 kW), tetapi kapal yang lebih besar (digunakan di laut lepas) dapat berkekuatan sampai 25 000 tenaga kuda (20 000 kW). Kebanyakan mesin yang digunakan sama dengan mesin kereta api, tetapi di kapal menggerakkan baling-baling. Dan untuk keselamatan biasanya digunakan minimum dua buah mesin induk. Kapal tunda memiliki kemampuan manuver yang tinggi, tergantung dari unit penggerak. Kapal Tunda dengan penggerak konvensional memiliki baling-baling di

belakang, efisien untuk menarik kapal dari pelabuhan ke pelabuhan lainnya. Jenis penggerak lainnya sering disebut Schottel propulsion system (azimuth thruster/Z-peller) di mana baling-baling dibawah kapal dapat berputar 360^0

2.2 Tahanan Kapal

Tahanan kapal ini merupakan gaya hambat dari media fluida yang dilalui oleh kapal saat beroperasi dengan kecepatan tertentu. Besarnya gaya hambat total ini merupakan jumlah dari semua komponen gaya hambat (tahanan) yang bekerja di kapal, meliputi Tahanan Gesek, Tahanan Gelombang, Tahanan Appendages, Tahanan Udara, dsb. Secara sederhana Tahanan Total Kapal dapat diperoleh dengan persamaan, sebagai berikut ;

$$RT = 0.5 \times \rho \times C_T \times S \times V_s^2$$

(S.W. Adji – Engine Propeller Matching)

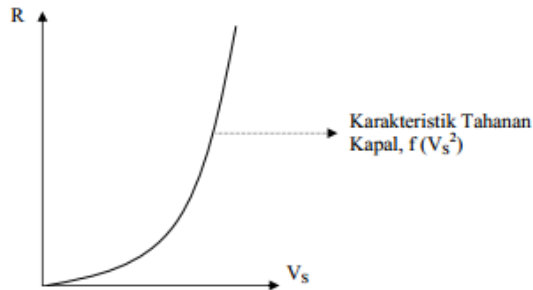
Dimana : ρ adalah massa jenis fluida (Kg/m^3);

C_T adalah koefisien tahanan total kapal;

S adalah luasan permukaan basah dari badan kapal (m^2).

Dan jika variabel-variabel tersebut adalah constant(α), maka Persamaan diatas dapat dituliskan sebagai berikut ;

$$RT = \alpha \times V_s^2$$



2Gambar 2.2 : Karakteristik Tahanan Kapal

(S.W. Adji – Engine Propeller Matching)

2.3 Gaya Dorong Kapal (TSHIP)

Gaya Dorong (Thrust) kapal merupakan komponen yang sangat penting, yang mana digunakan untuk mengatasi Tahanan (Resistance) atau gaya hambat kapal. Pada kondisi yang sangat-sangat ideal, besarnya gaya dorong yang dibutuhkan mungkin sama besar dengan gaya hambat yang terjadi dikapal. Namun kondisi tersebut sangatsangat tidak realistis, karena pada faktanya di badan kapal tersebut terjadi phenomena hidrodinamis yang menimbulkan degradasiterhadap nilai besaran gaya dorong kapal. Sehingga untuk gaya dorong kapal dapat ditulis seperti model persamaan, sebagai berikut ;

$$T = \frac{R}{(1-t)}$$

(S.W. Adji – Engine Propeller Matching)

Dimana : t adalah thrust deduction factor.

Kemudian dengan mensubstitusi R di Persamaan diatas dengan yang tertulis di Persamaan sebelumnya, maka diperoleh hubungan persamaan sebagai berikut ;

$$T = \frac{\alpha V_s^2}{(1-t)}$$

(S.W. Adji – Engine Propeller Matching)

Selanjutnya, jika unsur V_s pada Persamaan diatas juga disubstitusikan dengan persamaan sebelumnya, maka diperoleh model persamaan gaya dorong kapal (T_{SHIP}) adalah sebagai berikut ;

$$T = \frac{\alpha V_A^2}{(1-t)(1-w)^2}$$

(S.W. Adji – Engine Propeller Matching)

2.4 Daya Motor

Ada beberapa pengertian mengenai daya yang sering digunakan didalam melakukan estimasi terhadap kebutuhan daya pada sistem penggerak kapal, antara lain :

- Daya Efektif (Effective Power-PE)
- Daya Dorong (Thrust Power-PT)
- Daya yang disalurkan (Delivered Power-PD)
- Daya Poros (Shaft Power-PS)
- Daya Rem (Brake Power-PB)
- Daya yang diindikasi (Indicated Power-PI)

1. **Daya Efektif (PE)** adalah besarnya daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya hambat dari badan kapal (hull), agar kapal dapat bergerak dari satu tempat ke tempat yang lain dengan kecepatan servis sebesar V_s . Daya Efektif ini merupakan fungsi dari besarnya gaya

hambat total dan kecepatan kapal. Untuk mendapatkan besarnya Daya Efektif kapal, dapat digunakan persamaan sebagai berikut ;

$$P_E = RT \times V_s$$

(S.W. Adji – Engine Propeller Matching)

Dimana :

P_E : Daya Efektif, (kWatt)

RT : Gaya Hambat Total, (kN)

V_s : Kecepatan Servis kapal [$\{Knots\} \times 0.5144 = \{m/det\}$]

2. **Daya Dorong (PT)** adalah besarnya daya yang dihasilkan oleh kerja dari alat gerak kapal (propulsor) untuk mendorong badan kapal. Daya Dorong merupakan fungsi dari gaya dorong dan laju aliran fluida yang terjadi saat alat gerak kapal bekerja. Adapun persamaan Daya Dorong dapat dituliskan sebagai berikut ;

$$P_T = T \times V_A$$

(S.W. Adji – Engine Propeller Matching)

Dimana :

P_T : Daya Dorong, dlm. (kWatt)

T : Gaya Dorong, dlm. (kN)

V_a : Kecepatan advanced aliran fluida di bagian Buritan kapal(m/det)

$V_s (1 - w)$; yang mana w adalah wake fraction (fraksi arus ikut)

3. **Daya Yang Disalurkan (PD)** adalah daya yang diserap oleh baling-baling kapal guna menghasilkan Daya Dorong sebesar P_T , atau dengan kata lain, P_D merupakan daya yang disalurkan oleh motor penggerak ke baling-baling kapal (propeller) yang kemudian dirubahnya menjadi Daya Dorong kapal (P_T). Variabel yang berpengaruh pada daya ini adalah Torsi Yang

Disalurkan dan Putaran baling-baling, sehingga persamaan untuk menghitung PD adalah sebagai berikut ;

(S.W. Adji – *Engine Propeller Matching*)

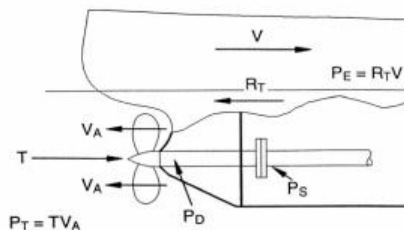
Dimana :

PD : Daya Yang Disalurkan (kWatt)

QD : Torsi Baling-baling kondisi dibelakang badan kapal (kNm)

nP : Putaran Baling-baling (rps)

4. **Daya Poros (PS)** adalah daya yang terukur hingga daerah di depan bantalan tabung poros (stern tube) dari sistem perporosan penggerak kapal. Untuk kapal-kapal yang berpenggerak dengan Turbin Gas, pada umumnya, daya yang digunakan adalah PS. Sementara itu, istilah Daya Rem (Brake Power, PB) adalah daya yang dihasilkan oleh motor penggerak utama (main engine) dengan tipe marine diesel engines.



3Gambar 2.3 : Gaya-gaya yang bekerja pada sistem penggerak

(S.W. Adji – *Engine Propeller Matching*)

Pada sistem penggerak kapal yang menggunakan Marine Diesel Engines (*type of medium to high speed*), maka pengaruh rancangan sistem transmisi perporosan adalah sangat besar didalam menentukan besarnya daya P_S . Jika kamar mesin terletak dibelakang dari badan

kapal, maka besarnya losses akibat sistem transmisi perporosan tersebut adalah berkisar 2 - 3 %. Namun bila kamar mesin terletak agak ke tengah atau jauh di depan, maka besarnya losses akan semakin bertambah.

2.4.1. Efisiensi Pada Sistem Penggerak Kapal

Sistem penggerak kapal memiliki beberapa definisi tentang daya yang ditransmisikan mulai dari daya yang dikeluarkan oleh motor penggerak hingga daya yang diberikan oleh alat gerak kapal ke fluida sekitarnya. Rasio dari daya-daya tersebut sering dinyatakan dengan istilah efisiensi, meskipun untuk beberapa hal sesungguhnya bukanlah suatu nilai konversi daya secara langsung.

Efisiensi Lambung, η_{HULL} , adalah rasio antara daya efektif (P_E) dan daya dorong (P_T). Efisiensi Lambung ini merupakan suatu bentuk ukuran kesesuaian rancangan lambung (stern) terhadap propulsor arrangement-nya, sehingga efisiensi ini bukanlah bentuk power conversion yang sebenarnya. Maka nilai Efisiensi Lambung ini pun dapat lebih dari satu, pada umumnya diambil angka sekitar 1,05. Perhitungan-perhitungan yang sering digunakan dalam mendapatkan efisiensi lambung adalah sebagai berikut:

$$\eta_{HULL} = \frac{P_E}{P_T}$$

$$\eta_{HULL} = \frac{R \times V_S}{T \times V_A}$$

$$\eta_{HULL} = \frac{T(1-t) \times V_S}{T \times V_S(1-w)}$$

$$\eta_{HULL} = \frac{(1-t)}{(1-w)}$$

(S.W. Adji – Engine Propeller Matching)

t dan w merupakan propulsion parameters, dimana t adalah Thrust Deduction Factor yang dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$t = 1 - \frac{R}{T}$$

(S.W. Adji – Engine Propeller Matching)

t standar : 0.5 x C_p - 0.12 (untuk kapal baling-baling tunggal)
: 0.5 x C_p - 0.19 (untuk kapal baling-baling ganda)

Dimana :

$$CP : \text{Koefisien Prismatic } C_p = \frac{\nabla}{LxBxTx C_m}$$

Sedangkan, w adalah wake fraction yang dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$w = 1 - \frac{V_A}{V_s}$$

w Standart : 0.7 C_p (untuk single screw)
: 0.7 C_p - 0.3 + 0.3[0.4(a/B)] (untuk twin screw)

a: Jarak antara 2 poros, B: Lebar kapal

2.4.2 Efisiensi Baling-baling (Propeller Efficiency)

Efisiensi Baling-baling (Propeller Efficiency), η_{PROP} , adalah rasio antara daya dorong (P_T) dengan daya yang disalurkan (P_D). Efisiensi ini merupakan power conversion, dan perbedaan nilai yang terjadi adalah terletak pada dimana pengukuran Torsi Baling-baling (Propeller Torque) tersebut dilakukan. Yakni, apakah pada kondisi open water (Q_O) atau pada kondisi behind the ship (Q_D). Persamaan berikut ini menunjukkan kedua kondisi dari Efisiensi Baling-baling, sebagai berikut ;

$$\text{Efisiensi Baling-baling (Open water) } \eta_o = \frac{T_x V_a}{2\pi Q_o n}$$

(S.W. Adji – Engine Propeller Matching)

$$\text{Efisiensi Baling-baling (Behind the Ship) } \eta_B = \frac{P_T}{P_D} = \frac{T_x V_A}{2\pi Q_D n}$$

(S.W. Adji – Engine Propeller Matching)

Karena ada dua kondisi tersebut, maka muncul suatu rasio efisiensi yaitu yang dikenal dengan sebutan Efisiensi Relative-Rotative, η_{RR} ; yang merupakan perbandingan antara Efisiensi Baling-baling pada kondisi di belakang kapal dengan Efisiensi Balingbaling pada kondisi di air terbuka, sebagai berikut ;

$$\frac{\eta_B}{\eta_o} = \frac{T_x V_A / 2\pi Q_D n}{T_x V_A / 2\pi Q_o n} = \frac{Q_o}{Q_D}$$

(S.W. Adji – Engine Propeller Matching)

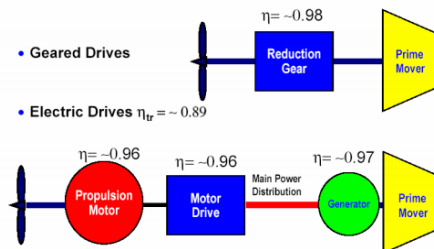
Sehingga η_{RR} sesungguhnya bukanlah merupakan suatu sifat besaran efisiensi yang sebenarnya (bukan merupakan power conversion). Efisiensi ini hanya perbandingan dari besaran nilai efisiensi yang berbeda. Maka besarnya efisiensi relative-rotative dapat pula lebih besar dari satu, namun pada umumnya diambil nilainya adalah berkisar satu.

2.4.3 Efisiensi Transmisi Poros (Shaft Transmission Efficiency)

Efisiensi Transmisi Poros (Shaft Transmission Efficiency), η_s , secara mekanis umumnya dapat didefinisikan dengan lebih dari satu macam tipe efisiensi, yang mana sangat tergantung dari bentuk konfigurasi pada stern arrangement-nya. Efisiensi ini merupakan product dari keseluruhan efisiensi masing-masing individual komponen terpasang. Efisiensi ini dapat dinyatakan seperti persamaan, sebagai berikut ;

$$\eta_s = \frac{P_D}{P_S}$$

Berikut ini adalah beberapa arrangement dari transmisi daya yang sering digunakan pada sistem penggerak kapal



4Gambar 2.4 : Efisiensi pada komponen transmisi dari sistem propulsi kapal

(S.W. Adji – *Engine Propeller Matching*)

Efisiensi Keseluruhan (Overall Efficiency, η_P), yang dikenal juga dengan sebutan Propulsive Efficiency, atau ada juga yang menyebutnya Propulsive Coefficient adalah merupakan hasil dari keseluruhan efisiensi di masing-masing phrasedaya yang terjadi pada sistem propulsi kapal (sistem penggerak kapal). Efisiensi Keseluruhan dapat diperoleh dengan persamaan, sebagai berikut ;

$$\eta_P = \frac{P_E}{P_T} \times \frac{P_T}{P_D} \times \frac{P_D}{P_S} = \pi_{HULL} \times \pi_B \times \pi_S = \pi_{HULL} \times \pi_o \times \pi_{RR} \times \pi_S$$

η_{HULL} , η_O , dan η_{RR} adalah tergantung pada karakteristik hydrodynamics, sedangkan η_S adalah tergantung pada karakteristik mekanisdari sistem propulsi kapal. Namun demikian, peranan yang terpenting adalah upaya-upaya guna mengoptimalkan η_P .

2.4.4 Daya Motor yang Dipasang

Daya motor penggerak kapal (P_B) yang dimaksud adalah Daya Rem (Brake Power) atau daya yang diterima oleh poros transmisi sistem penggerak kapal (P_S), yang selanjutnya dioperasikan secara kontinu untuk menggerakkan kapal pada kecepatan servisnya (VS). Jika besarnya efisiensi mekanis pada susunan gearbox, yang berfungsi untuk me-reduce dan me-reverseputaran motor penggerak, adalah 98 persen (seperti ditunjukkan pada Gambar 2). Maka daya motor penggerak kapal dapat dihitung, seperti persamaan dibawah ini ;

$$P_{B-CSR} = \frac{P_s}{0.98}$$

Yang mana P_{B-CSR} adalah daya output dari motor penggerak pada kondisi Continues Service Rating (CSR), yaitu daya motor pada kondisi 80 - 85% dari Maximum Continues Rating (MCR)-nya. Arti phisiknya, daya yang dibutuhkan oleh kapal agar mampu beroperasi dengan kecepatan servis VS adalah cukup diatasi oleh 80 - 85% daya motor (engine rated power) dan pada kisaran 100% putaran motor (engine rated speed). Sehingga untuk menentukan besarnya daya motor yang harus di-instal di kapal, adalah seperti yang ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut ;

$$P_{B-MCR} = \frac{P_{B-CSR}}{0.85}$$

Daya pada P_{B-MCR} inilah yang selanjutnya dapat digunakan sebagai (acuan) dalam melaksanakan proses pemilihan motor penggerak (Engine Selection Process). Untuk kapal tunda sendiri daya motor yang dipasang pada kapal adalah mengacu pada besarnya bollard pull kapal tunda itu sendiri. Untuk menentukan besarnya daya motor yang dipasang pada kapal tunda dapat menggunakan rumus sebagai berikut ;

$$BP = 1 \frac{HP}{100} \text{ (Untuk Kapal dengan Penggerak Propeller}$$

Biasa)

$$BP = 1.1 \frac{HP}{100} \text{ (Untuk Kapal dengan Penggerak Duckted}$$

Propeller)

$$BP = 1.2 \frac{HP}{100} \text{ (Untuk Kapal dengan Penggerak Duckted}$$

Propeller)

(Agoes Santoso)

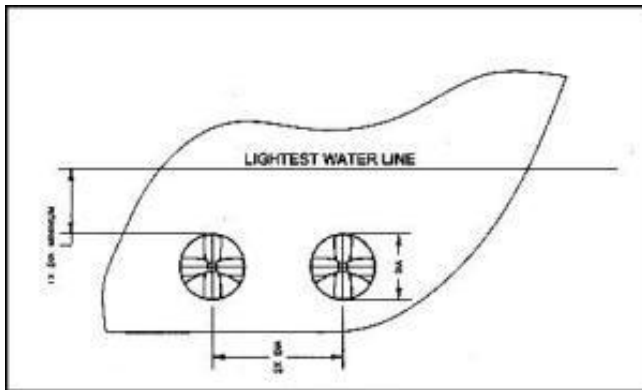
2.5 Bow Thruster

Pemasangan *bow thruster* memperbesar kemampuan *maneuver*. Dengan memanfaatkan energi putaran dari *propeller* pada *tunnel thruster* suatu kapal, arah dari kapal dapat dibelokkan dengan lebih cepat dibanding kapal tanpa *bow thruster*. Dengan mengandalkan kemampuan dari *bow thruster* ini, dapat dikembangkan dengan memberikan tambahan pada bagian *tunnel thruster*. Tambahan tersebut yakni dengan memberikan penutup pada *bow thruster* yang dapat terbuka dan tertutup. Fungsi dari penutup *tunnel* ini tidak hanya sebagai pembuka dan penutup saja, namun lebih mengarah pada penambahan kemampuan *maneuvering* kapal yang memanfaatkan *bow thruster*.

Thrustmaster tunnel thruster memiliki kemudahan dalam melakukan pemasangan. Keseluruhan dari bagian ini telah siap dipasang pada bagian *tunnel* dan semua yang dibutuhkan dalam proses ini adalah memasang bagian dari *tunnel* di dalam lambung. Dengan *tunnel thruster hidrolik*, kerja dari *tunnel thruster* bisa dilakukan dengan maksimal melalui bukaan yang dapat mengarahkan tekanan ke berbagai sudut yang optimal melalui saluran pipa hidrolik. Panjang dari *tunnel* dapat diperluas oleh *butt-welding pipe* dengan menggunakan material yang sama dengan diameter dan dengan ketebalan dinding sampai ujung dari standard tiga kaki bagian *tunnel* dari *thruster*. Sebagai alternatif, *thruster* disesuaikan dengan panjang terowongan (total panjang *tunnel* yang ditentukan) untuk menghemat waktu dan uang semasa proses instalasi.

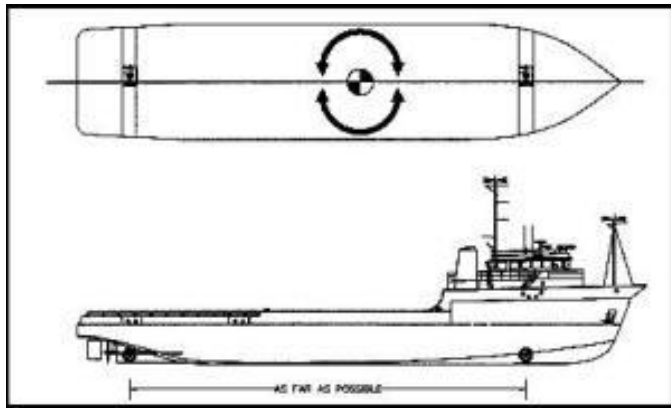
Ketika menambahkan sebuah *tunnel thruster* pada kapal yang sudah ada, potongan lubang *tunnel* pada

bagian sekat pemisah bujur yang mendorong ke dalam dari satu sisi hingga posisi yang diinginkan. Sesuai *submergence* dari terowongan tersebut, diperlukan untuk mencegah *vortexing* dan *air entrainment*. Ketika tekanan udara naik pada aliran terowongan selama operasi, pendorong akan mengalami *cavitation*, sehingga menghasilkan bising berlebih, getaran, dan pengurangan *substansil* dari keluaran daya tolak dan kerusakan mungkin saja menuju ke *thruster*. Kalau dua atau lebih *tunnel* pendorong dipasang, pusat dari masing-masing *tunnel* harus menjadi dua kali diameter terowongan ($2D$) yang terpisah.



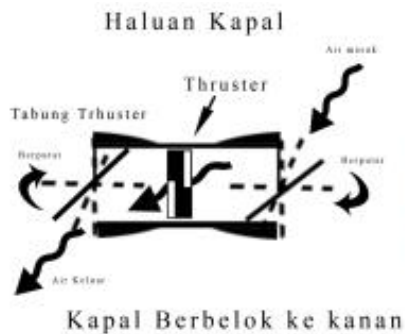
5Gambar 2.5 : Tipikal posisi tunnel thruster

Bentuk terowongan pendorong untuk mengatur siasat *maneuver* dipasang sebagai pengarah maju atau mundur pada kapal. Hal ini dapat meningkatkan gerakan putar yang efektif saat kapal *ber-manouver*. Umumnya direkomendasikan bahwa baling-baling ditempatkan dekat *centerline* kapal sehingga daya tolak ada dan tersedia ke kiri dan kanan



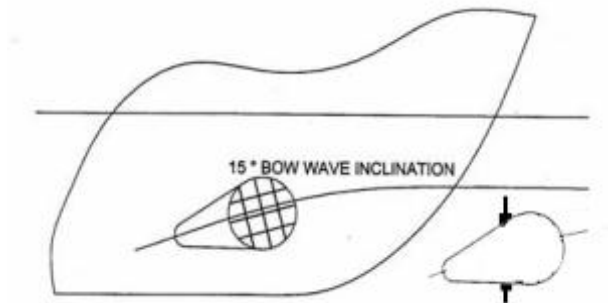
6Gambar 2.6 : Typical tunnel thruster placement

Pengaturan jumlah dan arah aliran air yang melewati haluan kapal dapat dilakukan dengan cara memberikan penutup tabung yang tepat dalam segi bentuk, desain, konstruksi, dan kekuatannya. Ketika berjalan, kapal akan mendapatkan hambatan katika diberi *bow thruster*, dengan adanya penutup ini, hambatan dapat dikurangi.



7Gambar 2.7 : Rencana penutup thruster

Penutup tabung *bow thruster* yang dapat terbuka dan tertutup disesuaikan dengan arah maneuver kapal dibuat dengan *system hidrolik*. Penutup tabung *bow thruster* dapat berputar hingga 180° ke arah sisi dalam dan luar kapal dan berputar melalui *panel control* sesuai kebutuhan *maneuvering*.



8Gambar 2.8 : Bentuk closure bow thruster

Tujuan putaran Penutup tabung *bow thruster* adalah untuk dapat mengatur aliran *fluida* dari sisi satu kapal ke sisi lainnya untuk memanuver lebih baik lagi. Panel Control penutup tabung *bow thruster* merupakan satu kesatuan dari *bow thruster* tersebut Pembuatan penutup ini harus didesain dengan perencanaan yang amat matang Menghemat konsumsi bahan bakar yang juga otomatis berdampak menghemat pengeluaran biaya operasi pelayaran dan mempersingkat waktu serta jarak *manuver* pelayaran

2.6 Perhitungan Matematis Bow Thruster

Bow Thruster harus bisa menggerakkan kapal dengan thrus yang dimilikinya sehingga kapal ampu bermanouver untuk menghasilkan thrust yang sesuai maka maka tahanan yang menghambat kapal harus dihitung dan thrust yang dihasilkan harus lebih besar dari tahanan untuk itu dilakukan pemodelaln matematis sbb:

2.6.1 Perhitungan thrust dan Power Bow Thruster

- **Perhitungan Tahanan**
- **Tahanan Angin**

$$R_a = K_a \times A_a \times V_a^2$$

Dimana :

K_a : koefisien yang diakibatkan oleh tahanan Angin (0.735 kg/m^3)

A_a : Luasan proyeksi permukaan memanjang kapal di atas permukaan air

V_a : kecepatan relative terhadap gerakan kapal

- **Tahanan Gesek**

$$R_w = 1.212 \times A_w \times [(V_w + V_s)^2 + 0.33 \times (V_w + V_s)]$$

Dimana :

A_w : Luas Permukaan Basah (WSA)

: $1,7 \times D \times L \times (\Delta/d) \dots \dots (m^2)$

V_w : Kecepatan Gelombang dan arus

: 2 Knots = 1.03 m/s

Karena kecepatan arus dan gelombang di daerah pelabuhan relative kecil maka kecepatan gelombang bisa

di abaikan. Jadi, V_w bisa dianggap nol dan hal ini pengaruhnya tidak terlalu besar.

V_s : Kecepatan kapal saat pengoperasian *Bow Thruster*.

- **Tahanan Bentuk**

$$R_v = 73,2 \times A_s \times (V_w + V_s)$$

Dimana :

A_s : Luasan proyeksi permukaan memanjang dibawah garis air

- **Perhitungan tahanan karena peralatan**

$$R_p = 26,4 \times D_s^2 \times (V_w + V_s)$$

Dimana :

D_s : Diameter *tunnel Bow Thruster*

Untuk mengetahui kebutuhan thrust kita mengacu pada referensi JICA Expert, pada referensi tersebut dikemukakan bahwa variable yang harus kita ketahui untuk menghitung thrust adalah :

- a. Ukuran utama kapal
- b. Luasanproyeksi kapal dibawah garis air
- c. Luasan proyeksi kapal diatas garis air
- d. Titik berat luasan proyeksi kapal
- e. Letak tunnel serta diameter

Setelah tahanan total dihitung maka langkah selanjunya menghitung thrust keseimbangan moment dari tahanan dan thrust efektif bow thruster (T_e) maka didapatkan rumusan sebagai berikut :

$$L_1 \times T_e \geq L_2 \times (R_a + R_w + R_v + R_p)$$

$$T_e \geq L_2 \times (R_a + R_w + R_v + R_p) / L_1 \dots \dots \dots (\text{kg})$$

Langkah selanjutnya menghitung loses hidrodinamik dalam perhitungan efisiensi untuk mendapatkan thrust sesungguhnya. Efisiensi tersebut antara lain:

- a. Efisiensi karena ketinggian tunnel terhadap bottom keel (η_1)
- b. Efisiensi karena panjang tunnel (η_2)
- c. Efisiensi karena bentuk lengkungan entrance tunnel (η_3)
- d. Efisiensi karena bentuk sudut inklinasi lambung kapal terhadap horizontal (η_4)
- e. Efisiensi karena pengaruh jumlah garis pelindung tunnel (η_5)
- f. Efisiensi karena letak tunnel dari garis air (η_6)

Sehingga thrus sesungguhnya yang dihasilkan adalah :

$$T = T_e / (\eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 \times \eta_5 \times \eta_6) \dots \dots \dots (\text{kg})$$

2.7 Perhitungan maneuver dengan bow thruster

Maneuver memutar Bow Thruster

$$f = (\text{N/m}^2) = \frac{Y_o}{LPP \times T}$$

Dimana :

Y_o : Gaya efektif

Setelah dicari nilai f maka dicari kecepatan sudutnya.

$$\Psi (^{\circ} \text{ s}) = \frac{k}{LPP \times T} \sqrt{\frac{f}{\rho}}$$

Dimana :

k : 190^0

$$\rho : 1025 \text{ kg/m}^3$$

2.8 Aspek pelayaran untuk bow thruster

Pemakaian bow thruster bertujuan untuk meningkatkan kemampuan manouever kapal pada saat berlayar pada pelayaran sempit mislanya saja pada saat akan berlabuh di pelabuhan atau untuk tugboat sendiri dibutuhkan untuk manouever saat memasuki pelabuhan.

Dalam aspek penggunaanya sehari-hari bow thruster dipakai untuk maneuver kapal dengan performance khusus dalam hubungannya dengan kemudi utama dan single atau multi propeller maneuver. Pertimbangan pemilihan bow thruster pada kapal adalah pesyaratan maneuvering secara khusus dan kondisi lingkungan. Mesin bantu yang digunakan pada geladak juga cocok untuk instalasi bow thruster gaya melintang bow thruster Y_o meningka pada arah longitudinal diukur dari center gravity (CG) normal diasumsikan terletak didekat midship kapal. Kapal akan mencapai kecepatan anguler ψ dan percepatan transversal dimana reaksi dinamik:

$$V(\text{m/s}^2) = Y_o / (\Delta + My'')$$

$$\psi \text{ (1/s}^2\text{)} = Y_o \cdot X_y / (\Delta + My'')$$

Dimana :

Y_o : gaya melintang bow thruster

X_y : letak antara bow thruster dengan midship

Δ : displacement kapal

My : massa hidrodinamik tmabhan pada arah melintang

1 : $\sqrt{1/(\Delta + My)}$: jarak momen inersia arah memanjang

Pada phase awal sumbu pivot point twerletak didekat :

a. $\Psi = -v$

Dengan substitusi persamaan diatasnya dan dengan asumsi $Xy = LPP/6$ maka didapatkan:

$$a = \frac{2l^2}{LPP}$$

dengan $i = 0.25$ LPP sampai 0.3 LPP dengan normal distribusi maka masa longitudinal kapal pada $a = LPP/6$ relatif terhadap tengah kapal

- a. Kearah belakang bow thruster
- b. Kearah depan untuk stern thruster

2.9 Gaya-gaya yang bekerja saat melakukan manouever

Jika sebuah gaya F bekerja pada massa M yang melintasi lintasan sepanjang garis maka, percepatannya adalah:

$$s = \frac{d^2 s}{dt^2}$$

Hukum newton:

$$F = m.s$$

Turunan deferensial dari persamaan diatas adalah:

$$F = \frac{d}{dt}(m.s) = s \frac{dm}{dt} + m \frac{ds}{dt}$$

Hukum momentum pada saat kondisi konstan speed

$$F = v \cdot s$$

Untuk jet fluida

$$T = p \cdot Q \cdot V_j$$

Dimana

T=Gaya reaksi jet (Ton)

P=densitas (kg/m³)

Q=Debit aliran Fluida (m³/s)

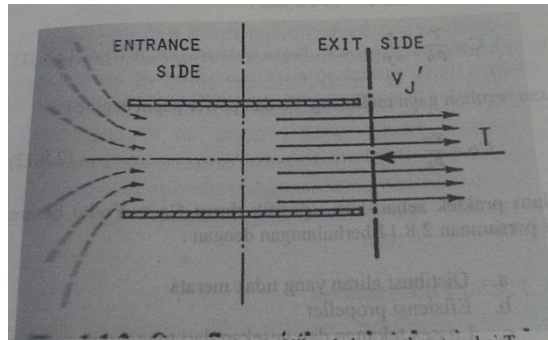
V_j=kecepatan aliran (m/s)

Dengan $V_j' < V_j$ = kecepatan jet aktif dengan resultan gaya bow thruster yang diukur Y_o dan instalasi terpasang. Kecepatan jet adalah:

$$V_j = \frac{Y_o}{pQ}$$

Hukum kontinuitas debit aliran Q adalah konstan pada permukaan melintang lingkaran dengan luas permukaan A_t dan persamaan diatas bahwa $Q = A_t \cdot V_j'$ jadi didapatkan:

$$T = p \cdot A_t \cdot V_j'^2$$



9Gambar 2.9: Aliran melintang V_j pada luasan thrust reaksi T

Power hidrolik pompa yang dihasilkan secara langsung dari head hidrostatik (AH) adalah:

$$P_n = Q \cdot A_p = Q p g A_h$$

Dimana:

$P_n(W)$: hidrolik power

$Q(m^3/s)$: Debit aliran fluida

$P(kg/m^3)$: densitas massa fluida

$G(m/s^2)$: percepatan gravitasi

$A_h(m)$: hidrolik head

Dengan tekanan tekanan hidrolik A_p sesuai dengan persamaan bernouli:

$$A_p = p \cdot V_j'^2 / 2$$

Substitusi persamaan diatas:

$$P_n = p \cdot A_t \cdot V_j'^2 / 2$$

Dari spesifik thrust $C=T/P_n$

$$C = \frac{T}{P_n} = \frac{2}{V_j'}$$

Atau resultan gaya Y_o dan power pump P_o

$$C_o = \frac{Y_o}{P_o}$$

Dalam praktek sehari-hari C_o besaran dari persamaan diatas berhubungan dengan :

- Distribusi aliran yang tidak merata
- Efisiensi propeller
- Losses tekanan dan gesekan dari tunnel dan gear box
- Entrance losses dan pemisahan aliran
- Efisiensi motor dan gear

Dalam melakukan perhitungan $A_t \cdot D^2$ (D =diameter tunnel) hal ini terlihat pada persamaan diatas tadi. Bahwa realisasi thrust yang sebesar:

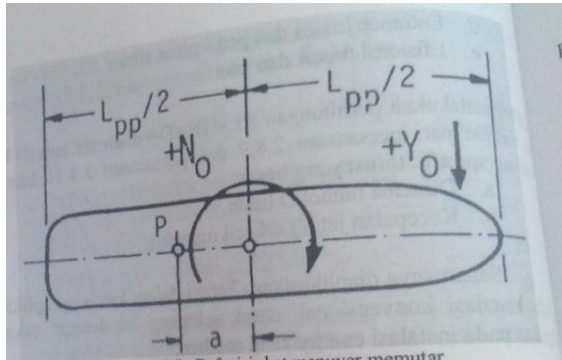
- Diameter tunnel
- Kcepatan jet V_j sekecil mungkin

2.10 Rating bow thruster pada kecepatan nol

Pengaruh resultan gaya Y_o dan moment steering N_o kapal akan memperoleh gerakan melintang dan memutar pada fase awal titik pusat P diletakkan didekat:

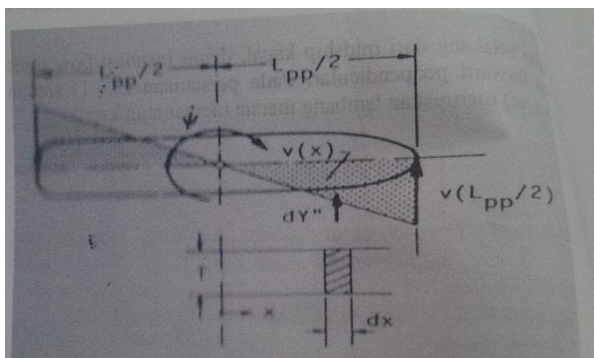
$$a = \frac{2l^2}{LPP}$$

Disini bow thruster dipasang didekat FP.



10Gambar 2.10: Definisi sket maneuver memutar.

Pada harga konstan dari persamaan putaran $\Psi = \text{konstan}$, harga moment inersia pada nol dan steering disebabkan peredam hidrodinamik resultan momen dari tahanan melintang terlihat pada spanjang lintasan dx dan tiggi T . pada fase kecepatan memutar konstan Ψ , kecepatan melintang $V(x)$ pada kondisi memanjang kapal $V(x) = x \cdot \Psi$



11 Gambar 2.11: Definisi sket untuk menghitung hidrodinamik.

Element thanan melintang berkaitan dengan lintasan:

$$dY'' = \text{const } x^2 \cdot \Psi^2 \cdot T \, dx$$

element moment

$$dN'' = \text{const } x^2 \cdot \Psi^2 \cdot T \, dx$$

integrasi sepanjang kapal terlihat moment peredam hidrodinamika N'' dimana diseimbangkan oleh momen steering

$$N'' = -N_0 = \text{const } T \cdot LPP^4 \cdot \Psi^2$$

Pengantar pada alas dan dimensi constan densitas massa dan $N_0 = \text{Const} \cdot LPP \cdot Y_0$ dan semua konstan dikumpulkan:

$$\psi = k \sqrt{\frac{Y_0}{\rho LPP^3 T}}$$

Dimana :

Ψ = rasio perputaran

Y_0 = gaya melintang jet thruster

$LPP = LPP$

T = Draft

p = masaa jenis

factor k dengan satuan drajat dari tes model dan experiment skala penuh didapatkan harga sebagai berikut:

$k = 190^0$ harga deviasi rata-rata

$k = 160$ haluan dan buritan rambing dan bow thruster terletak jauh dari FP

$k = 220$ untuk center rudder haluan gemuk dan lateral thruster dekat FP

dengan gaya dorong

$$f = Y_o / LPP \cdot T$$

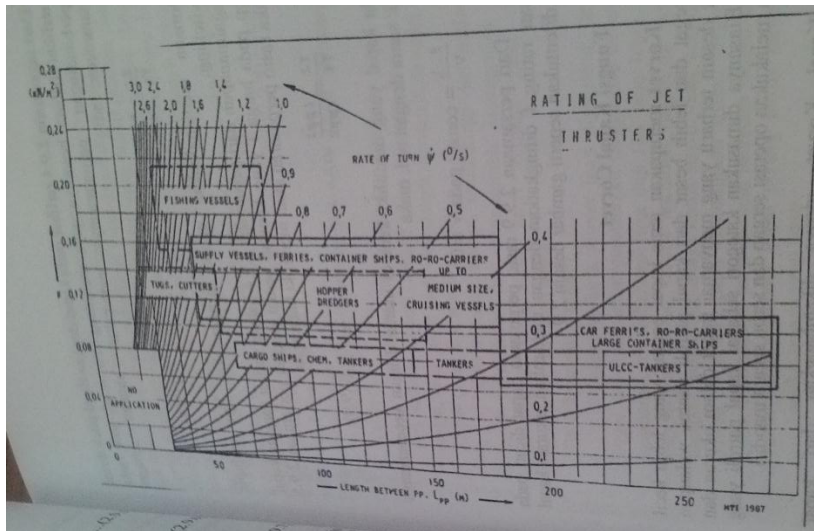
Asusmsi

$$F = P_o \cdot C_o / LPP \cdot T$$

Maka persamaannya adalah:

$$\psi = \frac{k}{LPP} \sqrt{\frac{f}{\rho}}$$

Berkaitan dengan menggunakan ukuran kapal LPP, thrust atau rasio luasan bow thruster dan rata-rata harga $k = 190$ dan dapat digambar dalam sebuah diagram dibawah ini. Dimana tipe-tipe kapal yang berlaku di pasaran dengan harga perputaran sebagai parameter.



12Grafik 2.12: Grafik Bow Thruster Thrust

Terlihat pada kapal dengan fix pitch thrust terlihat bahwa besarnya gaya melintang $Y_o \sim n^2$ jadi rasio perbandingan perputarannya merupakan putaran sebagai parameter:

$$\frac{\psi_2}{\psi_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

Diman amungkinkan menggunakan type multiple switching. Bahwa variasi panjang kapal pada harga f yang konstan maka rasio perputaran akan memiliki hubungan:

$$\frac{\psi_2}{\psi_1} = \frac{LPP_2}{LPP_1}$$

Pada kapal memiliki kemudi utama dengan kecepatan tidak sama dengan nol maka:

$$\frac{\psi \cdot L}{V}$$

Persyaratan IMO untuk Diameter Turning Circle adalah

2.11 Kelayakan Kapal Menurut IMO dari Segi Manouvering

Sebagaimana regulasi lainnya yang menyangkut masalah performance kapal, IMO juga membuat atura yang terkait dengan maneuver kapal. Dalam aturan terkait IMO mensyaratkan bahwa untuk diameter dari maneuver kapal $\leq 4.5 L$, L disini adalah LPP kapal.

2.12 Perhitungan Besarnya Biaya

Tingkat kompleksitasan peralatan kapal disesuaikan dengan tipe dan aplikasi kapal yang dioperasikan. Misalnya kapal tanker tentunya akan memiliki suatu sifat peralatan yang berbeda dengan kapal ferry penumpang-kendaraan. Berikut adalah perhitungan dari besarnya biaya yang bisa digunakan untuk melakukan prediksi harga dari kapal untuk bangunan baru yang dianut oleh para pelaku pebisnis atau pemilik kapal adalah referensi pasar kapal baru yang dikeluarkan oleh pusat-pusat bisnis kapal dunia seperti Llyod London, BIMCO Norway, dan ISL Bremen. Neraca kalkulasi pembiayaan kapal tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

Item Bagian	Satuan	Harga (Juta Rp)	Persentasi	Kondisi
Konstruksi	Tonnase (ton)	8-12.5/ton	40%-60%	Kapal Kosong
Peralatan	GT	0.2-1.5/GT	5%-10%	

Kapal				
Peralatan Geladak	GT	2-3/GT	10%-15%	
Sistem Penggerak Utama	HP	1-4.5	25%-30%	Tergantung Sistem Penggerak nya (utamnya Diesel

Tabel 1Tabel 2.1 : Perkiraan Harga Kapal

(R.O. Saut Gurning)

BAB III METODOLOGI

Untuk menyelesaikan masalah diatas akan dilaksanakan dalam beberapa langkah yang dapat dilihat dalam flow chart dibawah. Dalam pengerjaan skripsi ini dibagi dalam 5 tahapan utama yaitu pengumpulan data, penggambaran sistem, perhitungan kompresor dan air receiver, analisa data dan evaluasi terhadap langkah-langkah yang telah dilakukan.

Pengumpulan data

Merupakan tahap dimana mengumpulkan semua data yang akan digunakan untuk skripsi. GA, daya engine, Besarnya system SRP yang terpasang pada tugboat

Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan perhitungan thrust bow thruster yang bekerja pada kapal dan daya SRP yang digunakan pada harbour tug.

Perhitungan Daya dan Pemilihan Bow Thruster dan Sistem SRP

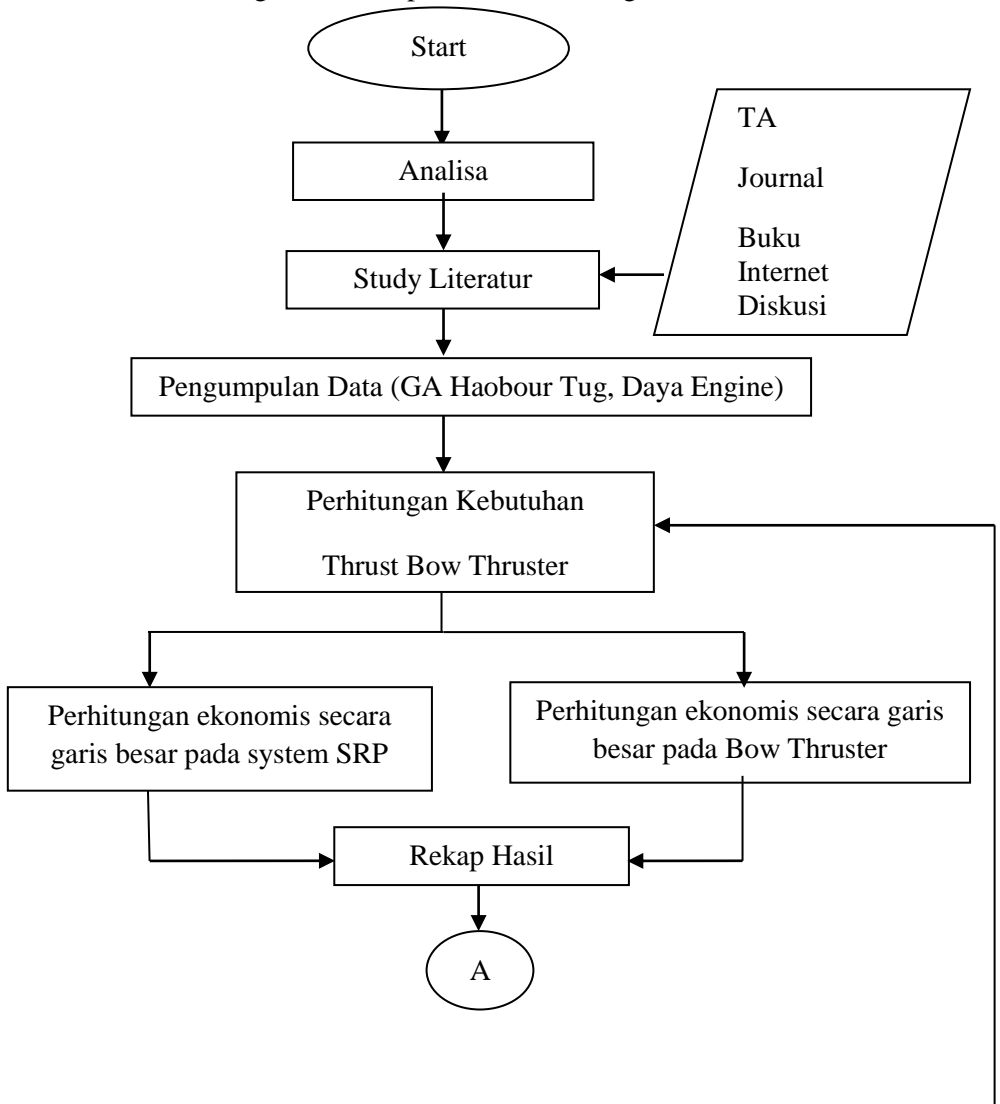
Pada tahap ini dilakukan analisa data dari hasil perhitungan, dilakukan pemilihan type bow thruster dan system SRP sesuai kebutuhan maneuvering harbour tug.

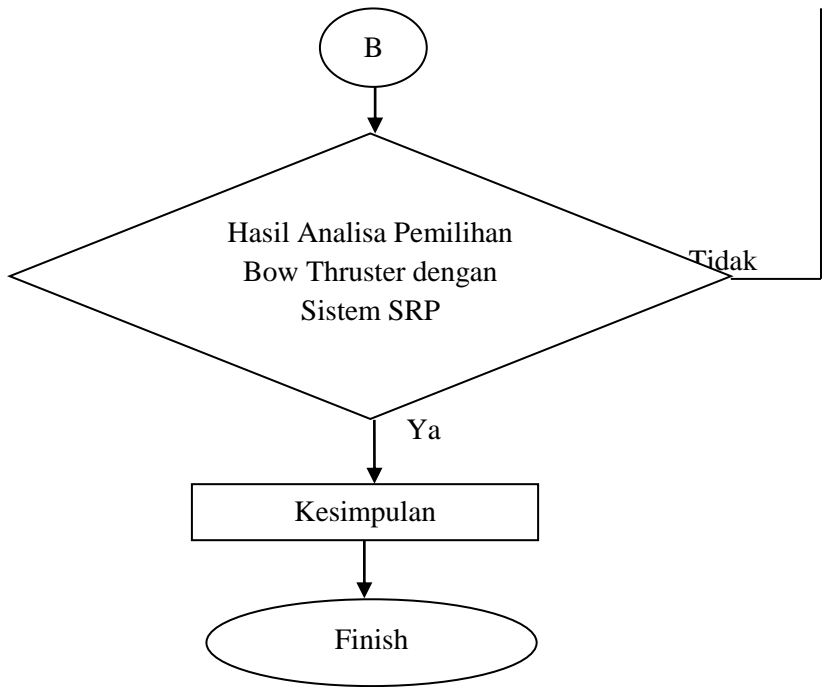
Hasil Analisa Pemilihan Bow Thruster dengan Sistem SRP

kemudian dilakukan pemilihan system maneuvering sesuai kebutuhan yang digunakan harbour tug antara bow thruster dengan system SRP.

Flow chart Metodologi Penelitian

Metodologi dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :



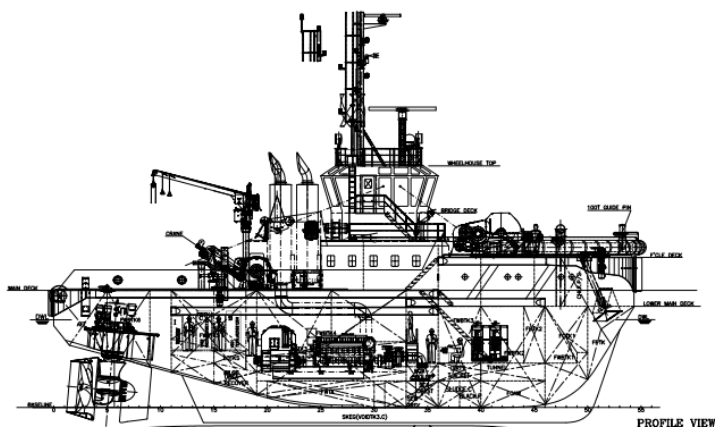


"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB IV

4.1 Data Kapal dari perancang

Data kapal tug boat yang digunakan disini adalah kapal tug boat pelabuhan (harbour tug) dengan ukuran utama sebagai berikut:



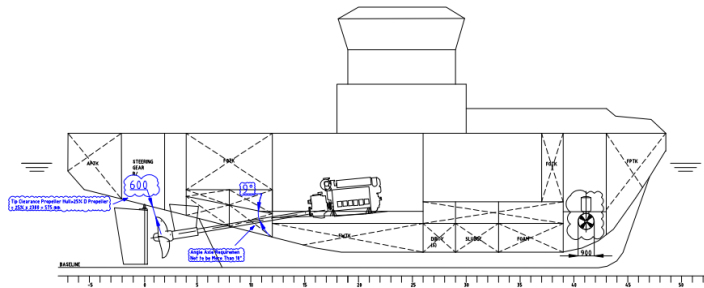
1Gambar 4.1 : Tugboat dengan Sistem SRP

PRINCIPLE DIMENSION

LENGTH(OA) -INCL FENDERS	33.30	m
LENGTH(WL) -	32.60	m
LENGTH (B.P.)	28.60	m
BREADTH(MLD)	13.00	m
DEPTH(MLD)	6.60	m
DRAFT(MLD) (DESIGN)	4.95	m
EXTREME DRAFT (DESIGN)	5.60	m
POWER	2 x 1469	hp
BOLLARD PULL	30	ton
GENERATOR	750	hp
SRP	Schottle 1212	

4.2 Perhitungan Kebutuhan Daya Main Engine Untuk Kapal Dengan Bow Thruster

4.2.1 Perhitungan Tahanan Kapal Tugboat



2Gambar 4.2 : Tugboat dengan Bow Thruster

Perhitungan tahanan menggunakan metode holtrop

Batasan pada metode holtrop :

- F_n : hingga 1
- CP : 0.73 – 0.85
- B/T : 2.0 – 2.3

Data Utama kapal :

LPP	: 28.6 m	LCB	: 1.36% didepan midship
LWL	: 32.6 m	CP	: 0.73
B	: 13 m	CB	: 0.71
H	: 6.6 m	CM	: 0.993
T	: 5.8 m	V_s	: 10 Knot

- Angka Froude (Fn)

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g \times Lwl}}$$

$$Fn = \frac{5.14}{\sqrt{9.8 \times 32.6}} = 0.287$$

- $B/T = 13/5.8 = 2.241$
- Perhitungan Tahanan Total

$$R \text{ TOTAL} = RF (1+k) + RAPP + RW + RB + RTR + RA$$

RF : Friction resistance (ITTC 1957)

1+k : Form factor of Hull

RAPP : Appendage resistance

RW : Wave Resistance

RB : Resistance of bulbous bow

RTR : Resistance of transom immersion

RA : Model ship correlation

1. Perhitungan displacement

D : $Lwl \times B \times T \times CB \times r$

: $32.6 \times 13 \times 5.8 \times 0.71 \times 1.025$

: 1788.84 ton

2. Perhitungan Renynold number

$$Rn = \frac{V \times Lwl}{\nu}$$

V : 5.14 m/s

$$Rn = \frac{5.14 \times 32.6}{0.00000118831} = 141047138.05$$

u : 1.18831×10^{-6}

3. Perhitungan Coef. Tahanan gesek (CF) ITTC 1957

$$CF = \frac{0.075}{(\log_{10} Rn - 2)^2}$$

$$CF = \frac{0.075}{(\log_{10} 0.00000118831 - 2)^2} = 0.001983$$

4. Perhitungan Form Faktor

1+k

$$: 0.93 + 0.487118 C_{14} (B/L)^{1.06806} (T/L)^{0.46106} (L/LR)^{0.121563} (L^3/V)^{0.36486} (1 - CP)^{-0.604247}$$

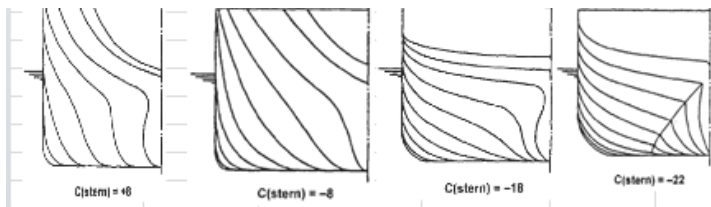
Diman :

$$LR : L(1 - CP + 0.06CP LCB / (4CP - 1))$$

$$: 32.6 (1 - 0.73) + 0.06 \times 0.73 \times 1.36 / (4 \times 0.73 - 1)$$

$$: 8.06$$

$$C_{14} : 1 + 0.011 C_{STERN}$$



3Gambar 4.3 : cstern

$$C_{14} : 1 + 0.0011(-8)$$

$$: 0.912$$

Jadi :

$$1+k : 0.93 + 0.487118 C_{14} (B/L)^{1.06806} (T/L)^{0.46106} (L/LR)^{0.121563} (L^3/V)^{0.36486} (1 - CP)^{-0.604247}$$

$$: 0.93 + 0.4871180.912(13/32.6)^{1.06806} (5.8/32.6)^{0.46106} (32.6/8.06)^{0.121563} (32.6^3 / 1745.208)^{0.36486} (1 - 0.73)^{-0.604247}$$

: 1.509

5. Perhitungan Luas permukaan basah (WSA)
 $S : L(2T + B) \sqrt{CM (0.453 + 0.4425 CB - 0.2862 CM - 0.003467 B/T + 0.3696 CWP) + 2.38 ABT/CB}$

Dimana:

CM : Coef midship

CB : COef. blok

CWP : Coef. Waterline

ABT : Luas Penampang melintang dari bulbous bow

CWP : $0.248 + 0.778 \times CB$

: $0.248 + 0.778 \times 0.71$

: 0.8

$S: 32.6(2 \times 5.8 + 13) \sqrt{0.993 (0.453 + 0.4425 \times 0.71 - 0.2862 \times 0.993 - 0.003467 \times 13/5.8 + 0.3696 \times 0.8) + 2.38 \times 0/0.71} : 616.166 \text{ m}^2$

6. Perhitungan Tahanan Tambahan
 $RAPP : 0.5 \times r \times V^2 \times SAPP \times (1 + k_2) \text{eq CF}$

Dimana : $SAPP = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4$
 $(1.75LT/100)$

Dimana :

L : Lwl

C1 : Faktor tipe kapal
: 1.0 kapal umum
: 0.9 Kapal Bulk Carrier
: 1.7 tug dan Trawler

C2 : Faktor tipe rudder
: 1.0 kapal secara umum
: 0.9 spade rudder
: 0.8 double rudder
: 0.7 hight lift rudder

C3 : factor profil rudder
: 1.0 NACA profil
: 0.8 hollow profil

C4 : rudder arrangement
: 1.0 rudder in the jet propeller
: 1.5 rudder outside propeller jet

Jadi SAPP = $1.7 \times 0.8 \times 1.0 \times 1.0 (1.75 \times 32.6 \times 5.8/100)$

= 4.5

Shaft Bracket : 3.0

$(1+k)_{eq} : 3.0 \times 29.97/29.97 = 3.0$

RAPP : $0.5 \times 1.025 \times 5.14^2 \times 4.5 \times 3.0 \times 0.001983$
: 0.3625

7. Perhitungan Tahanan Gesek Kapal (RF)

RF : $0.5 \times r \times CF (1+k) \times S \times V^2$
: $0.5 \times 1.025 \times 0.001983 \times 616.166 \times 5.14^2$
: 16.547 kN

8. Perhitungan Tahanan Gelombang

RW : $C1 \times C2 \times C5 \times V \times r \times g \times \exp^{[m1 fnd + m2 \cos(lFn - 2)]}$

Dimana :

C1 : Koef. Karena bentuk lambung kapal
 : $2223105 \times C4^{3.7861} \times (T/B)^{1.07961} \times (90 - iE)^{(-1.37565)}$
 iE : 17
 C4 : $B/L \rightarrow 0.11 < B/L < 0.4$
 : 0.3988

 C1 : $2223105 \times 0.3988^{3.7861} \times (5.8/13)^{1.07961} \times (90 - 17)^{(-1.37565)}$
 : 78.265

 C2 : Koef. Karena adanya bulbous bow
 C3 : $0.56 ABT^{1.5} / BT(0.3(ABT^{0.5} TF - HB))$
 ABT : luas melintang bulbous bow = 0
 C5 : 1

 λ : $1.446 CP - 0.03 L/B$
 λ : $1.446 \times 0.73 - 0.03 \times 32.6/13$
 λ : 0.98
 M1 : $0.0140407 L/T - 1.75254 V^{1/3} / L + 4.79323 B/L - C16$

 C16 : $8.07981 CP - 138673 CP^2 + 6.984388 CP^3$
 $\rightarrow CP < 0.8$

 : $8.07981 \times 0.73 - 138673 \times 0.73^2 + 6.984388 \times 0.73^3$
 : 1.225

 M1 : $0.0140407 \times 32.6/5.8 - 1.75254/1745.208^{1/3}/32.6 + 4.79323 \times 13/32.6 - 1.225$

$$: -3.6556$$

$$M2 : C15 \times CP^2 \exp(-0.1 F_n^{-2}) \rightarrow C15 = -1.69385$$

$$M2 : -1.69385 \times 0.73^2 \exp(-0.1 \times 0.288^{-2})$$

$$: -0.26936$$

Jadi :

$$RW : 78.26 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1745.208 \times 9.8 \times \exp^{[-3.6556 \times 0.288^{-0.9} + (-0.2693 \times \cos(0.98 \times 0.288^{-2})]}$$

$$: 14.956 \text{ kN}$$

9. Perhitungan tahanan bulbous bow
Karena kapal tidak memiliki bulbous bow maka tahanan bulbous bow dianggap nol.
10. Perhitungan tahanan karena transom tercelup air
Karena badan kapal transom tidak tercelup air maka tahanan transom dianggap nol.
11. RA : nilai koreksi yang berhubungan dengan model kapal

$$RA : 0.5 \times r \times V^2 \times CA.S$$

Dimana :

$$CA : 0.0006(L+100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.0003(L/7.5)^{0.5} \times CB^4 \times C2 (0.04-C4)$$

$$: 0.0006(32.6+100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.0003(32.6/7.5)^{0.5} \times 0.71^4 \times 1(0.04-0.04)$$

$$: 0.000695$$

$$RA : 0.5 \times 1.025 \times 5.14^2 \times 0.000695 \times 616.166$$

$$: 5.8 \text{ kN}$$

12. Perhitungan Tahanan Total Kapal

RTOTAL: $R_F(1+k+R_{APP}+R_W+R_B+R_{TR}+R_A)$

: $(16.55 \times$

$(1.5093)) + 0.636 + 14.966 + 0 + 0 + 5.8$

: 46.108 kN

Sea Margin 10%

RT Dinas : $(1+10\%) RT$

: $(1+10\%) 46.108$

: 50.719 kN

4.3 Perhitungan Kebutuhan Daya Tugboat

1. Menghitung Daya Efektif Kapal (EHP)

Daya Efektif atau EHP adalah daya yang diperlukan untuk menggerakkan kapal di air atau untuk menarik kapal dengan kecepatan v . Perhitungan daya efektif kapal (EHP) menurut buku HARVARD,TAHANAN DAN PROPULSI KAPAL, 6.2.1 hal. 135 sebagai berikut :

P_e : $R \times V$

EHP : $R_t \text{ Dinas (KN)} \times V_s \text{ (M/s)}$

: 50.72×5.14

: 260.92 kW

: 349.90 hp

2. Menghitung Daya tabung poros buritan Baling-baling (DHP)

Adalah daya yang diserap oleh propeller dari sistem perporosan atau daya yang dihantarkan oleh sistem perporosan ke propeller untuk diubah menjadi daya dorong (thrust)

DHP : EHP/ η_p

Dimana :

P_c : $\eta_H \times \eta_{rr} \times \eta_o$

a. Effisiensi lambung (η_H)

$$\eta_H = (1-t)/(1-w)$$

Menghitung Wake Friction (w)

Wake friction atau arus ikut merupakan perbandingan antara kecepatan kapal dengan kecepatan air yang menuju ke propeller. Dengan menggunakan rumus yang diberikan oleh Taylor ,maka didapat :

w : 0.12 → didapat dari interpolasi

CB 0.7	0.091
CB 0.71	? = 0.12
CB 0.75	0.143

Menghitung Thrust Deduction Factor (t)

nilai t dapat dicari dari nilai w yang telah diketahui yaitu:

$$t : 0.7w + 0.06$$

$$: 0.7(0.12) + 0.06$$

$$: 0.144$$

$$\text{Maka, } \eta_H : (1-t)/(1-w)$$

$$: (1-0.144)/(1-0.12)$$

$$: 0.973$$

b. Efisiensi Relatif Rotatif (η_{rr})

harga η_{rr} untuk kapal dengan propeller tipe twin screw berkisar 0.95-1.0. (Principal of Naval Architecture hal 152) pada perencanaan propeller dan tabung poros propeller ini diambil harga : $\eta_{rr} = 1.0$

c. Efisiensi Propulsi (η_o)

Adalah open water efficiency yaitu efficiency dari propeller pada saat dilakukan open water test. nilainya antara 40-70%, dan diambil : $\eta_o = 50\%$

d. Coefisien Propulsif (P_c)

$$P_c : \eta_H \times \eta_{rr} \times \eta_o$$

$$: 0.973 \times 1.0 \times 0.5$$

$$: 0.535$$

maka, daya pada tabung poros baling-baling dihitung dari :

$$\text{THP} : \text{EHP} / \eta_H$$

$$: 349.90 / 0.973$$

$$: 359.970 \text{ hp}$$

$$\text{DHP} : \text{EHP} / \eta_c$$

$$: 349.90 / 0.535$$

$$: 654.015 \text{ hp}$$

3. MENGHITUNG DAYA PADA POROS BALING-BALING (SHP)

Untuk kapal yang kamar mesinnya terletak di bagian belakang akan mengalami losses sebesar 2%, sedangkan pada kapal yang kamar mesinnya pada daerah midship kapal mengalami losses sebesar 3%. (“Principal of Naval Architecture hal 131”). Pada perencanaan ini, kamar mesin terletak dibagian belakang, sehingga losses yang terjadi hanya 2%

$$\text{SHP} : \text{DHP} / \eta_{shb}$$

$$: 654.015 / 0.98$$

$$: 667.362 \text{ hp}$$

4. MENGHITUNG DAYA PENGGERAK UTAMA YANG DIPERLUKAN

a. BHP_{scr} : Pada perencanaan dengan gearbox,

$$\text{BHP}_{scr} : \text{SHP} / 0.98$$

$$: 667.362 / 0.98$$

: 680.982 hp

- b. BHP mcr : BHp mcr diambil dari BHP scr ditambah 15% BHP scr

BHP mcr : BHP scr+15% BHP scr

: 680.982+15% 680.982

: 767.466 HP

5. Karena kapal tugboat digunakan untuk melayani tunda ataupun narik kapal lain maka digunakan daya yang lebih besar daripada daya yang di butuhkan untuk menggerakkan kapal tugboat sendiri, untuk kebutuhan daya kita mengacu pada besarnya bollardpull tug boat. Dalam hal ini kapasitas dari bollard pull mengacu pada kapal tug boat yang diterima dari perancang yaitu 30 ton. Maka besarnya daya yang dibutuhkan dari tug boat adalah :

$$Bollardpull = \alpha \frac{HP}{100}$$

Dimana : a :1.0 = Propeller biasa

1.1 = Propeller dengan tunnel

1.2 = SRP

$$30 = 1 \frac{HP}{100}$$

HP = 3000 hp

Maka, engine yang dipasang pada tug boat adalah

Wartsila 6120 : 2 x 1633 hp

4.4 Pemilihan Propeller

- a. Syarat diameter propeller

Y : (0.6-0.7) T

Y max : 3.48 m

→ D max : y max -0.08 y : 3.2 m

Y min : 2.9 m

- D max : y max -0.08 y : 2.668 m
- b. Advance speed (Va)
- Va : (1-w) x Vs
: (1-0.12) x 5.14
: 4.53 m/s
- Va_{max} : (1-w) x V max
: (1-0.12) x 10.3
: 4.66 m/s
- c. BP - δ Diagram
- a. Memprediksikan jenis - jenis propeller yang mungkin
- b. Menghitung nilai BP1 dengan rumus :
 $Bp1 = N \times P^{0.5} / Va^{2.5} = 21.933$

Jenis Prop.	DHP (HP)	N Mesin (RPM)	N.Prop (RPM)	w	Vmax (kn)	Vamax (kn)	Bp1	0,1739. √Bp1
B3-35	667.36	210	210	0.1200	10.3	9.1	21.933	0.81
B3-50	667.36	210	210	0.1200	10.3	9.1	21.933	0.81
B3-65	667.36	210	210	0.1200	10.3	9.1	21.933	0.81
B3-80	667.36	210	210	0.1200	10.3	9.1	21.933	0.81
B4-40	667.36	210	210	0.1200	10.3	9.1	21.933	0.81
B4-55	667.36	210	210	0.1200	10.3	9.1	21.933	0.81
B4-70	667.36	210	210	0.1200	10.3	9.1	21.933	0.81
B4-85	667.36	210	210	0.1200	10.3	9.1	21.933	0.81
B4-100	667.36	210	210	0.1200	10.3	9.1	21.933	0.81

B5-45	667.36	210	210	0.1200	10.3	9.1	21.933	0.81
B5-60	667.36	210	210	0.1200	10.3	9.1	21.933	0.81
B5-75	667.36	210	210	0.1200	10.3	9.1	21.933	0.81
B5-90	667.36	210	210	0.1200	10.3	9.1	21.933	0.81
B5-105	667.36	210	210	0.1200	10.3	9.1	21.933	0.81
B6-50	667.36	210	210	0.1200	10.3	9.1	21.933	0.81
B6-65	667.36	210	210	0.1200	10.3	9.1	21.933	0.81
B6-80	667.36	210	210	0.1200	10.3	9.1	21.933	0.81
B6-95	667.36	210	210	0.1200	10.3	9.1	21.933	0.81

1Tabel 4.1 : Pemilihan Propeller N Mesin/N Prop

Lalu dengan memotongkan nilai BP1 dengan optimum line, Untuk mendapatkan nilai dari δ_o , maka digunakan rumus : $(1/J_o) / 0,009875$. Setelah mendapatkan nilai dari δ_o , maka langkah selanjutnya Setelah mendapatkan nilai dari δ_o , maka langkah selanjutnya adalah mendapatkan nilai dari Do dengan persamaan

$$D_o = \frac{\delta_o \times Va}{N}$$

Untuk nilai Do dalam british unit (ft), maka Va dalam (knot), Besarnya Db tergantung dari jumlah propeller yang dipakai :

- Untuk Single-Screw Propeller Db = 0.96 Do
- Untuk Twin-Screw Propeller Db = 0.98 Do

Sehingga, untuk kapal ini yang menggunakan twin-screw

Jenis Prop.	P/D_0	$1/J_0$	δ_0	D_0 (ft)	D_b (ft)	D_b (m)	D_{max} (m)	$D_b < D_{max}$
B3-35	0.76	1.900	192.405	8.30	8.14	2.48	2.67	Terpenuhi
B3-50	0.77	1.940	196.456	8.48	8.31	2.53	2.67	Terpenuhi
B3-65	0.8	1.850	187.342	8.09	7.92	2.42	2.67	Terpenuhi
B3-80	0.86	1.760	178.228	7.69	7.54	2.30	2.67	Terpenuhi
B4-40	0.81	1.820	184.304	7.95	7.80	2.38	2.67	Terpenuhi
B4-55	0.69	2.520	255.190	11.01	10.79	3.29	2.67	Coba Lagi
B4-70	0.71	2.500	253.165	10.93	10.71	3.26	2.67	Coba Lagi
B4-85	0.76	2.400	243.038	10.49	10.28	3.13	2.67	Coba Lagi
B4-100	0.81	2.350	237.975	10.27	10.07	3.07	2.67	Coba Lagi
B5-45	0.72	2.450	248.101	10.71	10.49	3.20	2.67	Coba Lagi
B5-60	0.73	2.440	247.089	10.66	10.45	3.19	2.67	Coba Lagi
B5-75	0.74	2.430	246.076	10.62	10.41	3.17	2.67	Coba Lagi
B5-90	0.77	2.380	241.013	10.40	10.19	3.11	2.67	Coba Lagi
B5-105	0.81	2.300	232.911	10.05	9.85	3.00	2.67	Coba Lagi

B6-50	0.78	2.350	237.975	10.27	10.07	3.07	2.67	Coba Lagi
B6-65	0.76	2.354	238.380	10.29	10.08	3.07	2.67	Coba Lagi
B6-80	0.76	2.340	236.962	10.23	10.02	3.06	2.67	Coba Lagi
B6-95	0.78	2.330	235.949	10.18	9.98	3.04	2.67	Coba Lagi

2Tabel 4.2 : Pemilihan Propeller Db/Dmax

Karena memenuhi syarat diameter hanya beberapa jenis di atas, maka untuk perhitungan selanjutnya dilakukan hanya terhadap jenis-jenis propeller diatas. Untuk mendapatkan nilai δ_b , didapatkan melalui persamaan :

$$\delta_b = \frac{D_b \times N}{V_a}$$

Lalu didapatkan nilai $1/J_b$ memelalui persamaan sebagai berikut : $\delta_b \times 0,009875$. Memotongkan kembali nilai $Bp1$ dengan $1/J_b$, didapatkan nilai P/D_b serta η . Menghitung

$$A_o = \frac{1}{4} \pi D_b^2$$

nilai A_o (Area of tip cycle), A_d , dan A_e .

(dalam ft^2), Nilai dari A_e/A_o bergantung dari propeller yang dipilih, jika yang dipilih adalah B3-35, maka nilai

dari $A_e/A_o = 0,35$ $A_e = 0,35 \times A_o$ (dalam ft^2), nilai dari $A_d = A_e$

Jenis Prop.	δ_b	$1/J_b$	P/D_b	η	A_e/A_o	A_o	A_e	$A_d = A_e$	V_a (m/s)
B3-35	188.5	1.8	0.76	0.645	0.35	51.9	18.1	18.1	4.66
B3-50	192.5	1.9	0.77	0.625	0.5	54.2	27.1	27.1	4.66
B3-65	183.5	1.8	0.8	0.605	0.65	49.2	32.0	32.0	4.66

B3-80	174.6	1.7	0.86	0.58	0.8	44.6	35.6	35.6	4.66
B4-40	180.6	1.7	0.81	0.52	0.4	47.7	19.0	19.0	4.66
B4-55	250.0	2.4	0.69	0.525	0.55	91.4	50.3	50.3	4.66
B4-70	248.1	2.4	0.71	0.515	0.7	90.0	63.0	63.0	4.66
B4-85	238.1	2.3	0.76	0.505	0.85	82.9	70.5	70.5	4.66
B4-100	233.2	2.3	0.81	0.49	1	79.5	79.5	79.5	4.66
B5-45	243.1	2.4	0.72	0.525	0.45	86.4	38.9	38.9	4.66
B5-60	242.1	2.3	0.73	0.52	0.6	85.7	51.4	51.4	4.66
B5-75	241.1	2.3	0.74	0.515	0.75	85.0	63.7	63.7	4.66
B5-90	236.1	2.3	0.77	0.505	0.9	81.5	73.4	73.4	4.66
B5-105	228.2	2.2	0.81	0.495	1.05	76.1	80.0	80.0	4.66
B6-50	233.2	2.3	0.78	0.51	0.45	79.5	35.7	35.7	4.66
B6-65	233.6	2.3	0.76	0.515	0.65	79.8	51.8	51.8	4.66
B6-80	232.2	2.2	0.76	0.51	0.8	78.8	63.0	63.0	4.66
B6-95	231.2	2.2	0.78	0.505	0.95	78.1	74.2	74.2	4.66

3Tabel 4.3 : Pemilihan Propeller Ae/A0

Menghitung V_r , τ_c , $\sigma_{0.7R}$ dan menentukan terjadinya kavitasi,

$$V_r^2 = V_a^2 + (0.7 \times \pi \times n \times D)^2$$

$$T_c = \frac{T}{A_p \times 0.5 \times \rho \times (V_r)^2} \quad \sigma_{0.7R} = \frac{188.2 + 19.62h}{V_a^2 + (4.836 \times n^2 \times D^2)}$$

Jenis Prop.	A_p (m ²)	N (rpm)	V_r^2	T (kN)	T_c hitungan	$\sigma_{0.7R}$	T_c buril	Kavitasi?	η	Pitch
B3-35	1.968	3.500	385.91	48.377	0.12	0.82	0.25	Tidak	0.645	1.9
B3-50	2.923	3.500	401.40	48.377	0.08	0.79	0.25	Tidak	0.625	2
B3-65	3.429	3.500	366.99	48.377	0.08	0.86	0.25	Tidak	0.605	1.9
B3-80	3.761	3.500	334.22	48.377	0.08	0.95	0.27	Tidak	0.58	2
B4-40	2.037	3.500	355.89	48.377	0.13	0.89	0.26	Tidak	0.52	1.9
B4-55	5.538	3.500	662.36	48.377	0.03	0.48	0.19	Tidak	0.525	2.3
B4-70	6.902	3.500	652.23	48.377	0.02	0.49	0.19	Tidak	0.515	2.3
B4-85	7.626	3.500	602.80	48.377	0.02	0.53	0.20	Tidak	0.505	2.4
B4100	8.491	3.500	578.84	48.377	0.02	0.55	0.21	Tidak	0.49	2.5
B5-45	4.250	3.500	627.26	48.377	0.04	0.51	0.20	Tidak	0.525	2.3
B5-60	5.607	3.500	622.33	48.377	0.03	0.51	0.20	Tidak	0.52	2.3
B5-75	6.933	3.500	617.41	48.377	0.02	0.51	0.20	Tidak	0.515	2.3
B5-90	7.920	3.500	593.15	48.377	0.02	0.53	0.20	Tidak	0.505	2.4
B5105	8.540	3.500	555.38	48.377	0.02	0.57	0.21	Tidak	0.495	2.4
B6-50	3.851	3.500	578.84	48.377	0.04	0.55	0.21	Tidak	0.51	2.4
B6-65	5.610	3.500	580.74	48.377	0.03	0.55	0.21	Tidak	0.515	2.3
B6-80	6.823	3.500	574.11	48.377	0.02	0.55	0.21	Tidak	0.51	2.3
B6-95	7.992	3.500	569.40	48.377	0.02	0.56	0.21	Tidak	0.505	2.4

4Tabel 4.4 : Pemilihan Propeller Kavitasi

Nilai $\sigma_{0.7R}$ ini digunakan untuk mengetahui nilai angka kavitasi pada diagram buril. Dipotongkan dengan kurva

merchant ship propeller. karena besarnya angka kavitasi dari hasil perhitungan lebih kecil dari angka kavitasi dari hasil pembacaan pada grafik buril maka tidak terjadi kavitasi, Dengan mempertimbangkan Perhitungan kavitasi ini di coba dihitung untuk semua tipe propeller, dan ketentuan untuk mengambil keputusan mana propeller yang di pakai adalah :

1. Diameter propeller yg dipilih harus kurang dari diameter max
2. Tidak terjadi kavitasi pada propeller
3. propeller yang dipilih mempunyai efisiensi yang paling bagus.

Sehingga didapatkan kesimpulan, propeller yang dipilih adalah:

type	B3-35
Db	2.48 m
P/Db	0.760
η_p	0.645
n	210 Rpm

4.5 Perhitungan Tahanan Bow thruster

4.5.1 Perhitungan Tahanan Angin

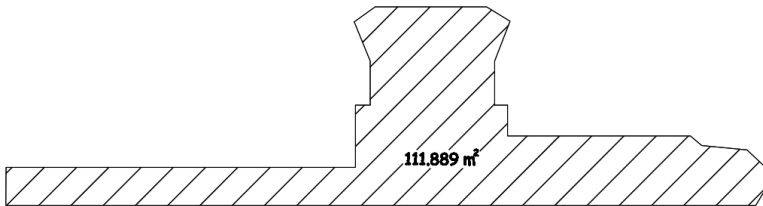
$$R_a : K_a \times A_a \times V_a^2$$

Dimana:

K_a : Koefisien tahanan angin (0.0735 kgm^2/m^4 pada transvers direction)

A_a : Luasan proyeksi diatas garis air

untuk mencari luasan proyeksi diatas garis air, menggunakan software auto cad yaitu memiliki nilai sebesar 111.889 m²



4Gambar 4.4 : Luasan Diatas Garis Air

Va : Kecepatan Angin terhadap Gerakan Kapal (10 m/sec)

Jadi :

Ra : $0.0735 \times 111.889 \times 10$
: 822.384 kg

4.5.2 Tahanan Gesek

RW : $0.01212 \times A_w \times (V_w + V_s)^2 + 0.33(V_w + V_s)$

Dimana:

A_w : Luas permukaan basah (WSA)

A_w : $1.025L (cb \times B + 1.7 T) \text{ m}^2$ (rumus Harvard)

A_w : $1.025 \times 32.6 (0.71 \times 13 + 1.7 \times 5.8)$
: 637.89 m²

V_w : Kecepatan Gelombang dan Arus (2 knot = 1.03 m/sec)

V_s : Kecepatan kapal saat pengoperasian thruster di pelabuhan 0.3 m/sec (rata-rata)

Jadi :

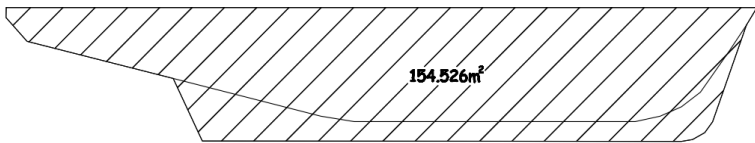
$$\begin{aligned}
 RW &: 0.01212 \times 637.89 \times (1.03+0.3)^2 + \\
 &0.33(1.03+0.3) \\
 &: 14.115 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

4.5.3 Tahanan Bentuk

$$R_v : 73.2 \times A_s \times (V_s + V_w)^2$$

Dimana:

A_s : luas proyeksi dibawah garis air, dapat dicari menggunakan software auto cad yaitu memiliki nilai sebesar 154.526 m^2



5Gambar 4.5 : Luasan dibawah Garis Air

$$\begin{aligned}
 R_v &: 73.2 \times 154.526 \times (0.3+1.03)^2 \\
 &: 20008.56 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Perhitungan daya awal untuk mengetahui daya bow thruster dilakukan perhitungan dengan melihat grafik laterl thruster (pada lampiran dibelakang), dari grafik didapat nilai f sebesar 0.121

$$Y_o : f \times L_{pp} \times T$$

$$Y_o : 0.135 \times 28.6 \times 5.8$$

$$: 22.39 \text{ kN}$$

Mengacu pada rumus diatas, dan nilai c_o adalah 0.15 kN/kW. Maka, diperoleh daya awal sebesar

$$\begin{aligned} P_o &: Y_o/c_o \\ &: 22.39/0.15 \\ &: 143.29\text{kW} \end{aligned}$$

4.5.4 Tahanan Karena Peralatan

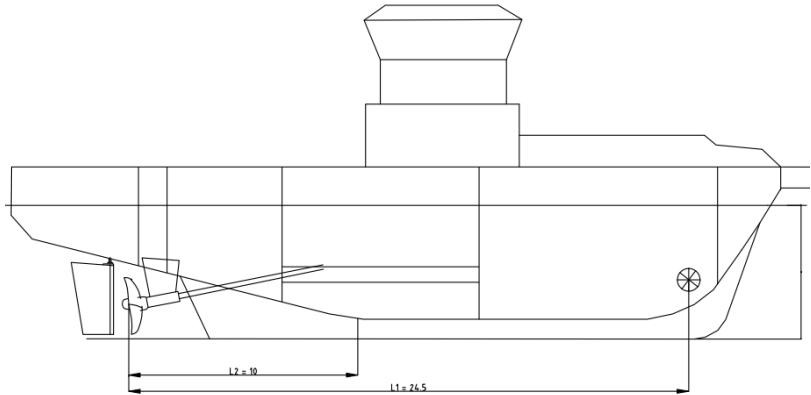
1. Bow Thruster "thrust master 36TT200" dengan daya 150 kW diameter bow Thruster 900 mm

$$R_p : 26.4 \times D_s^2 \times (V_w + V_s)^2$$

D_s : Diameter tunnel thruster yang diketahui dari spek bow thruster,

$$\begin{aligned} R_p &: 26.4 \times 0.9^2 \times (1.03 + 0.3)^2 \\ &: 37.83 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$T_e \geq \frac{L2x(Ra + R_w + R_v + R_p)}{L1}$$



6Gambar 4.6 : L1 dan L2

$$Te \geq \frac{10x(822.38 + 14.115 + 20008.56 + 37.826)}{24.5}$$

$$Te \geq 8523.628kg$$

2. Bow Thruster "Scana FPT0.8" dengan daya 200 kW diameter bow thruster 800 mm.

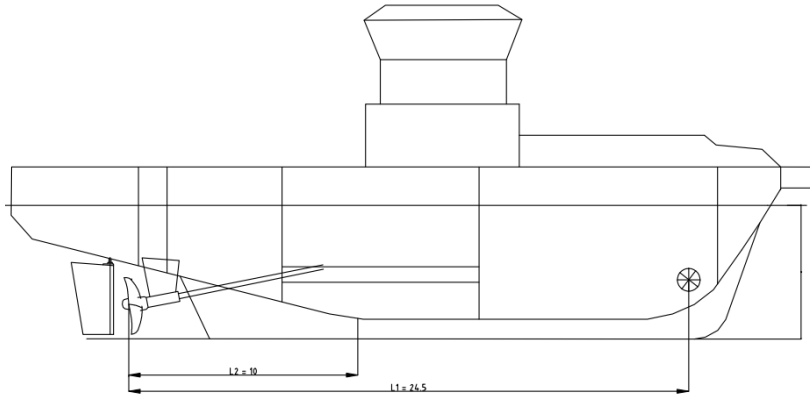
$$Rp : 26.4 \times Ds^2 \times (Vw + Vs)^2$$

Ds : Diameter tunnel thruster yang diketahui dari spek bow thruster,

$$Rp : 26.4 \times 0.8^2 \times (1.03 + 0.3)^2$$

$$: 29.887 \text{ kg}$$

$$Te \geq \frac{L2x(Ra + Rw + Rv + Rp)}{L1}$$



7Gambar 4.7 : L1 dan L2

$$Te \geq \frac{10x(822.38 + 14.115 + 20008.56 + 29.887)}{24.5}$$

$$Te \geq 8520.388kg$$

3. Bow Thruster "ZF padova ZF SDT 3000" dengan daya 195 kW dengan diameter 1400 mm.

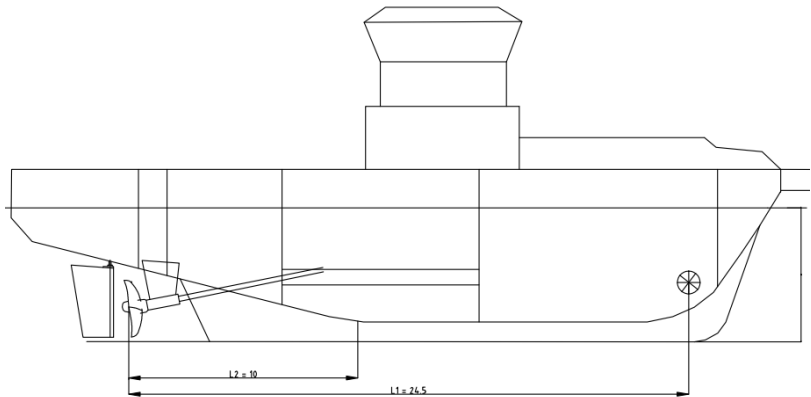
$$Rp : 26.4 \times Ds^2 \times (Vw + Vs)^2$$

Ds : Diameter tunnel thruster yang diketahui dari spek bow thruster,

$$Rp : 26.4 \times 1.4^2 \times (1.03 + 0.3)^2$$

$$: 91.53 \text{ kg}$$

$$Te \geq \frac{L2x(Ra + Rw + Rv + Rp)}{L1}$$



8Gambar 4.8 : L1 dan L2

$$Te \geq \frac{10x(822.38 + 14.115 + 20008.56 + 91.53)}{24.5}$$

$$Te \geq 8545.55kg$$

Dari perhitungan diatas, dengan pertimbangan daya bow thruster dan diameter maka dipilih thrust master “36TT200”

Merk	Thrust master 36TT200	Scana FPT0.8	ZF padova ZFSDT 3000
Te (Thrust)	8523.628 kg	8520.388 kg	8545.55 kg
Power	150 kW	200 kW	195 kW
Diameter	900 mm	800 mm	1400 mm
Rpm	750 rpm	750 rpm	750 mm

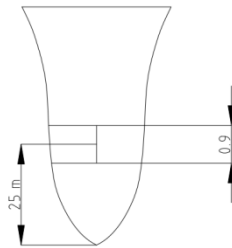
5Tabel 4.5 : Bow Thruster

4.5.5 Koreksi

$$T = \frac{Te}{\eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 \times \eta_5 \times \eta_6}$$

1. h_1

faktor koreksi letak ketinggian tunnel dari dasar kapal sebagai parameter perbandingan jarak ketinggian dari dasar kapal ke pusat tunnel (A) dengan diameter dari tunnel (Ds) maka dari grafik pada lampiran dibelakang didapatkan

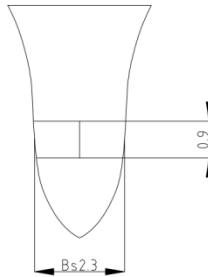


Gambar 4.9: A/Ds

$A/D_s = 2.778$ dari grafik lampiran eff 1 dapat diketahui nilai sebesar 1.15

2. h_2

Faktor koreksi karena panjang tunnel dengan parameter perbandingan karena panjang tunnel dan diameter tunnel maka didapatkan

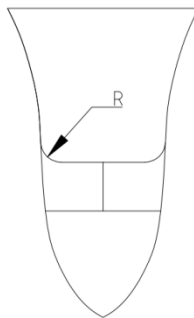


10Gambar 4.10: Bs/Ds

Bs/Ds = 2.556 dari grafik lampiran dibelakang
didapatkan nilai 0.998

3. h3

koreksi karena bentuk tunnel dengan
memperhatikan efisiesi dan losses dari tunnel
perlu dibuat kelengkungan pada ujung-ujung
tunnel

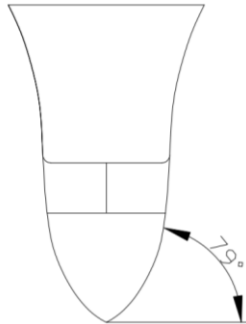


11Gambar 4.11: R/Ds

$R = 100 \text{ mm}$

$R/D_s = 0.111$ dari grafik lampiran dibelakang didapatkan nilai 1.26

4. h_4
koreksi dari bentuk haluan dari bentuk haluan kapal membentuk sudut terhadap dasar kapal



12Gambar 4.12: sudut haluan terhadap garis dasar

Sudut haluan kapal terhadap garis dasar 79° dari grafik lampiran dibelakang didapatkan nilai 0.976

5. h_5
koreksi dari kisi-kisi pelindung (n) = 4 buah, dari grafik lampiran dibelakang didapatkan nilai 0.951
6. h_6
Koreksi dari kedalaman tunnel dari permukaan garis air, $l/D_s = 3.5889$, dari grafik lampiran di belakang didapatkan nilai 1

Jadi, thrust efektif yang bekerja adalah

$$T = \frac{8523.628}{1.15 \times 0.998 \times 1.26 \times 0.976 \times 0.951 \times 1}$$

$$T = 6350.314 \text{ kg}$$

4.6 Kecepatan belok dengan bow thruster

Mengacu pada rumus $\psi = \frac{k}{L_{pp}} \sqrt{\frac{f}{\rho}}$

Dimana :

K : derajat kebebasan (190^0 nilai deviasi rata-rata)

L_{pp} : 28.6 m

F : 0.135 N/m^2

ρ : 1025 g/m^3

$$\psi = \frac{190}{28.6} \sqrt{\frac{0.135}{1025}}$$

$$y = 2.41^0/\text{sec} = 144.69^0/\text{mnt}$$

Jadi, untuk melakukan belok 360^0 diperlukan waktu 144.69sec atau 2.41 menit. Untuk mencari besarnya radius saat kapal belok 360^0 dengan waktu 144.69 second :

$$v = \omega.r$$

$$v = 2\pi f.r$$

$$v = \frac{2\pi}{T}r$$

Dimana:

v : *Kecepatan linear (m / s)*

ω : *kecepatan sudut*

π : 3.14

T : *waktu*

r : *radius*

Jadi, untuk menghitung besarnya radius putar pada saat kapal berjalan dengan kecepatan 1 knot.

$$v = \frac{2\pi}{T}r$$

$$0.51 = \frac{2(3.14)}{144.61}r$$

$$r = \frac{0.51 \times 144.61}{6.28}$$

$$r = 11.85m$$

Persyaratan IMO tentang maneuver kapal bahwa diameter turning circle $\leq 4.5L$, L adalah LPP kapal. Maka turning circle diameter persyaratan imo adalah $\leq 4.5 \times 28.6 = 128.70$ meter, diameter belok tug boat dengan bow thruster adalah $11.85 \times 2 = 23.7$ meter.

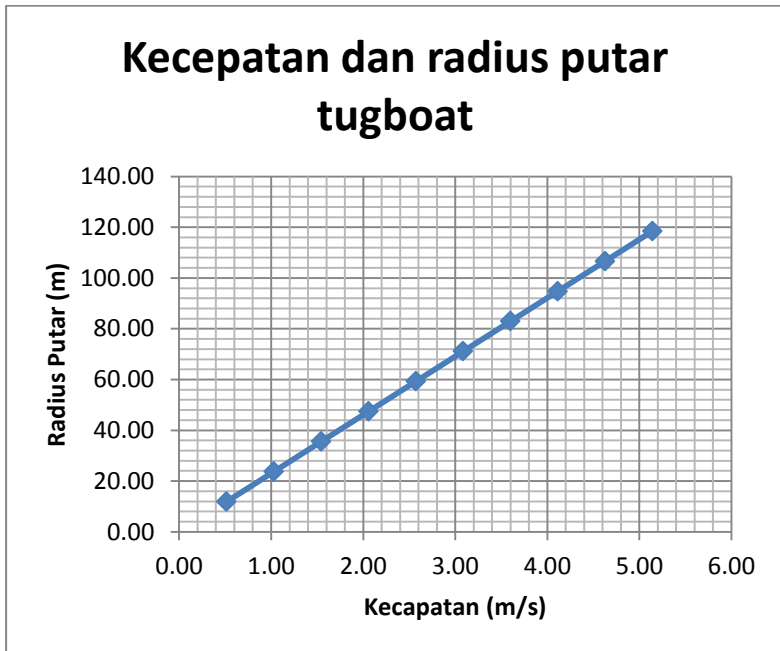
Kemudian dilakukan perhitungan radius belok dengan variasi kecepatan kapal, sampai kecepatan service kapal. Berikut adalah table perhitungan dari radius belok kapal dengan pertimbangan, waktu yang diperlukan melakukan satu kali putaran adalah konstan .

No.	Speed (Kn)	Speed (m/s)	Waktu (s)	radius (m)	Diameter (m)
1	1	0.51	144.69	11.85	23.70
2	2	1.03	144.69	23.70	47.41
3	3	1.54	144.69	35.56	71.11
4	4	2.06	144.69	47.41	94.81
5	5	2.57	144.69	59.26	118.52
6	6	3.09	144.69	71.11	142.22
7	7	3.60	144.69	82.96	165.92
8	8	4.12	144.69	94.81	189.63
9	9	4.63	144.69	106.67	213.33
10	10	5.14	144.69	118.52	237.03

Tabel 4.6 : kecepatan dan radius putar Tugboat dengan Bow
6

Thruster

Berikut adalah grafik dari perbandingan antara kecepatan dan radius belok dari kapal tugboat



Grafik 4.1 : Grafik perbandingan kecepatan dan radius putar Tugboat dengan Bow Thruster

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa perbandingan antara kecepatan tugboat dan radius putar tugboat berbanding lurus, semakin tinggi kecepatan tugboat maka semakin besar pula radius putar yang dilakukan tugboat,

dengan parameter waktu tempuh tugboat saat melakukan putaran 360^0 konstan pada 144.69 second.

4.7 Perhitungan Besarnya Harga pada Tugboat Propeller Biasa + Bow Thruster

Berikut adalah perhitungan harga dari permesinan tugboat yang menggunakan propeller biasa + bow thruster

No.	Komponen	(Qty)	Harga satuan (IDR)	Harga Total (IDR)
1.	Main Engine	(2x1633hp)	2 jt / hp	6.532.000.000
2.	Propeller	(2)	@250 jt	500.000.000
3.	Bow Thruster	(1)	2.5 M	2.500.000.000
			Jumlah	9.532.000.000

7Tabel 4.7 : Harga Permesinan Tug Boat dengan Propeller biasa + Bow Thruster

4.8 Perhitungan Besarnya Harga pada Tugboat Sistem SRP

Berikut adalah perhitungan harga dari permesinan tugboat yang menggunakan System SRP

No.	Komponen	(Qty)	Harga satuan (IDR)	Harga Total (IDR)
1.	Main Engine	(2x1469 hp)	2 jt / hp	5.876.000.000
2.	SRP	(2)	@4.5 M	9.000.000.000
			Jumlah	14.876.000.000

Tabel 4.8 : Harga Permesinan Tug Boat dengan System SRP

Berikut adalah hasil dari perbandingan antara tugboat menggunakan Bow Thruster dan system SRP

	Tugboat System SRP	Tugboat Propeller biasa + Bow Thruster
Bollardpull (ton)	30	30
Power (hp)	2 x 1469	2 x 1633
Radius Putar (m)	0 (pada satu sumbu yaitu pada sumbu srp)	11.85
Harga (IDR)	14.876.000.000	9.532.000.000

9Tabel 4.9 : Perbandingan TugBoat antara Propeller Biasa + Bow Thruster dan System SRP

Fig. 5 グリッドの表示

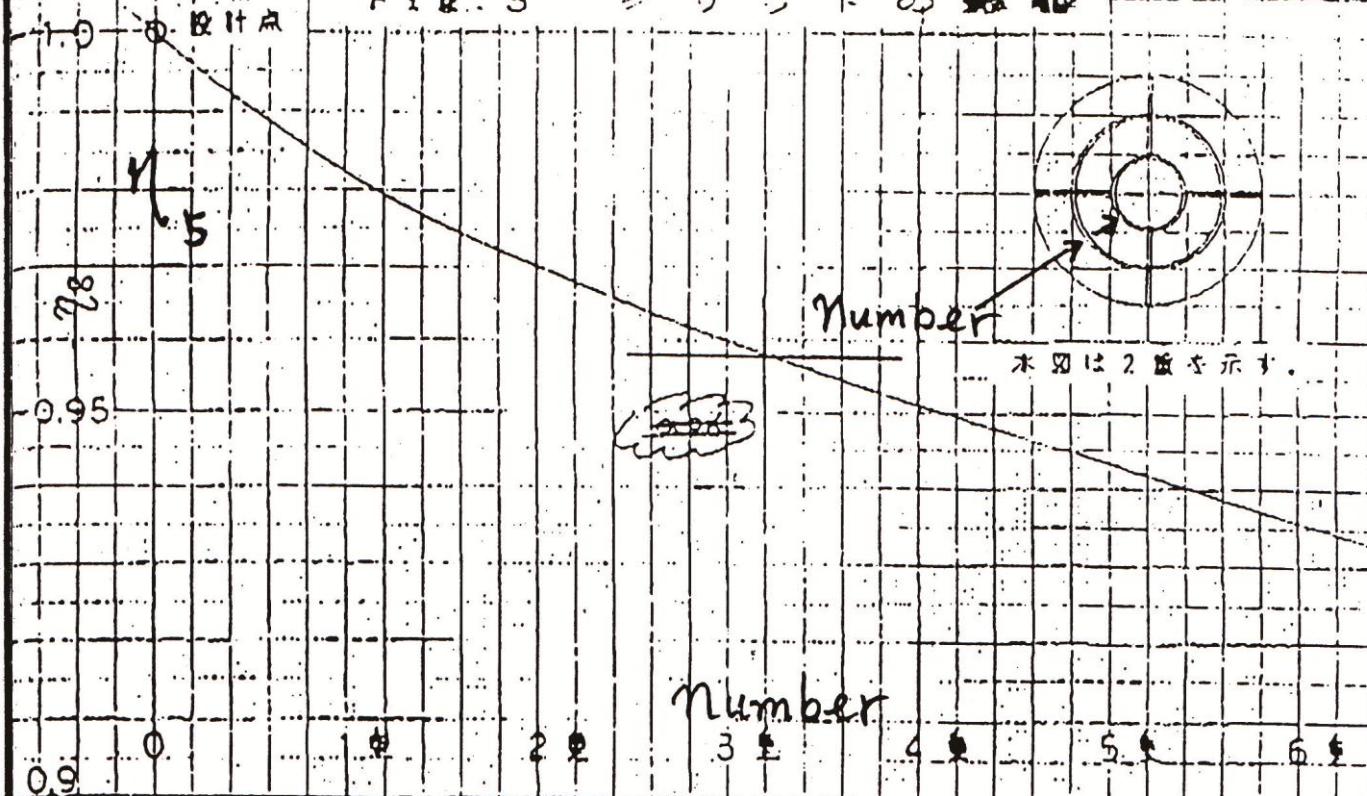
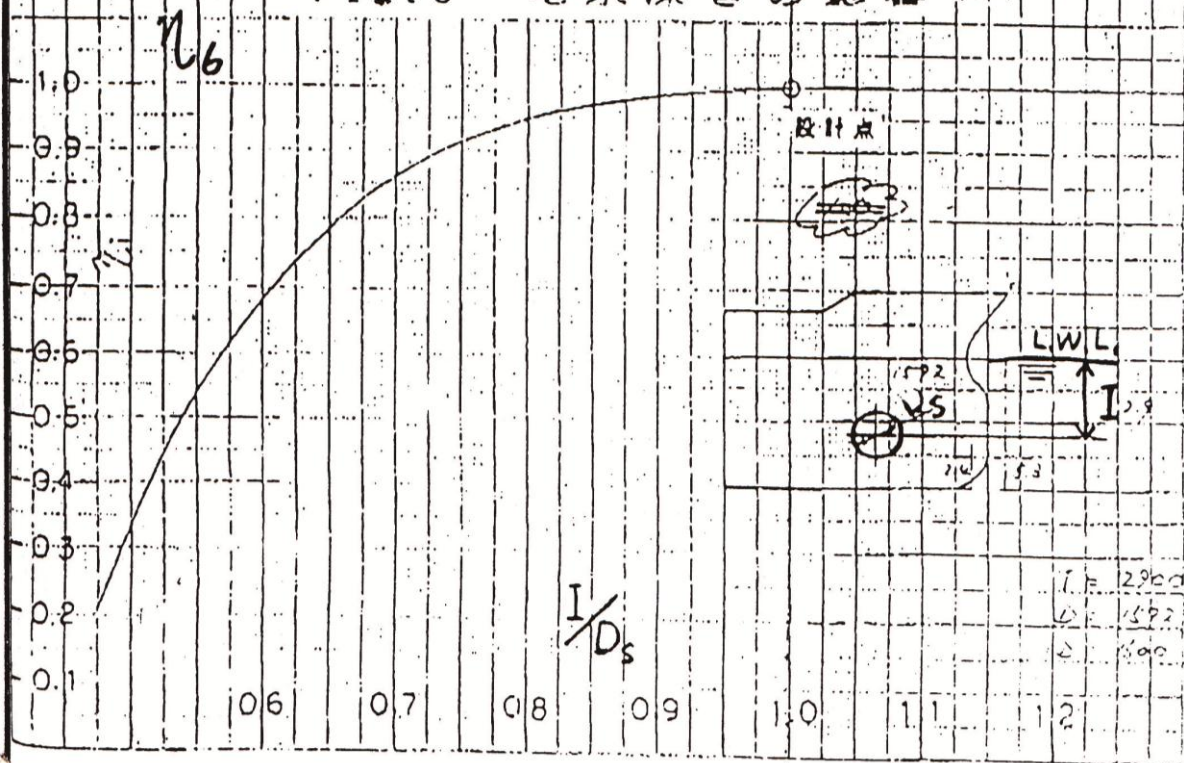


Fig. 6 吃水深さの影響



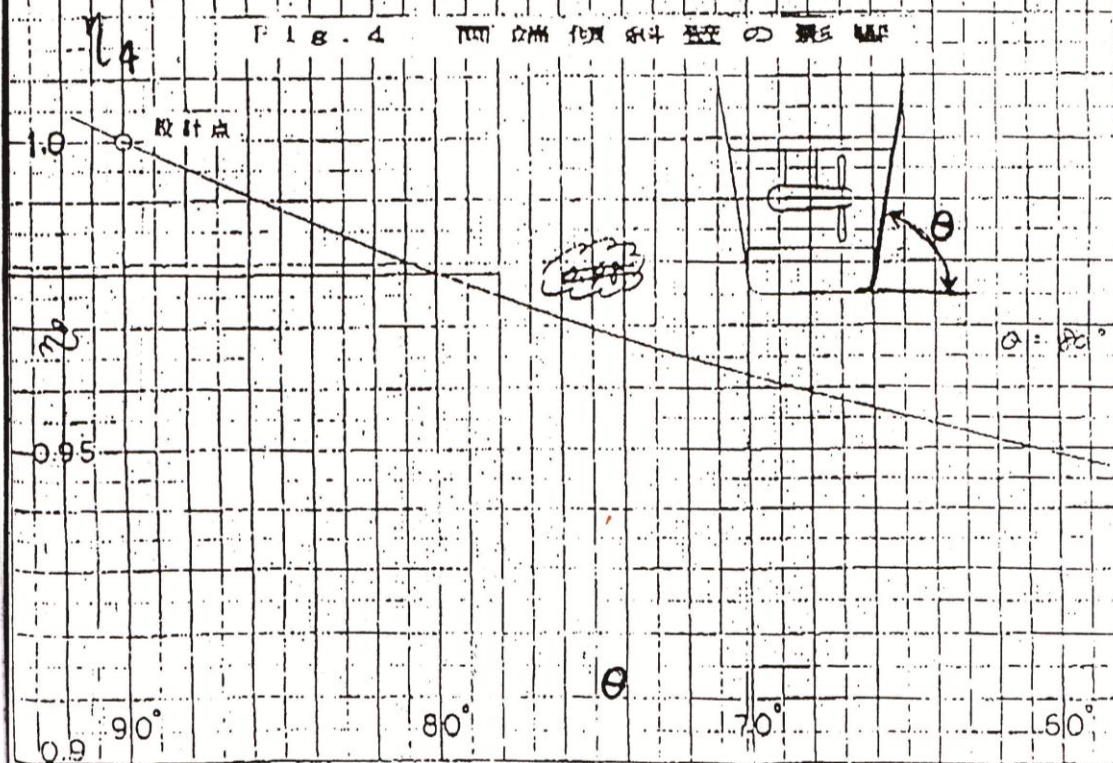
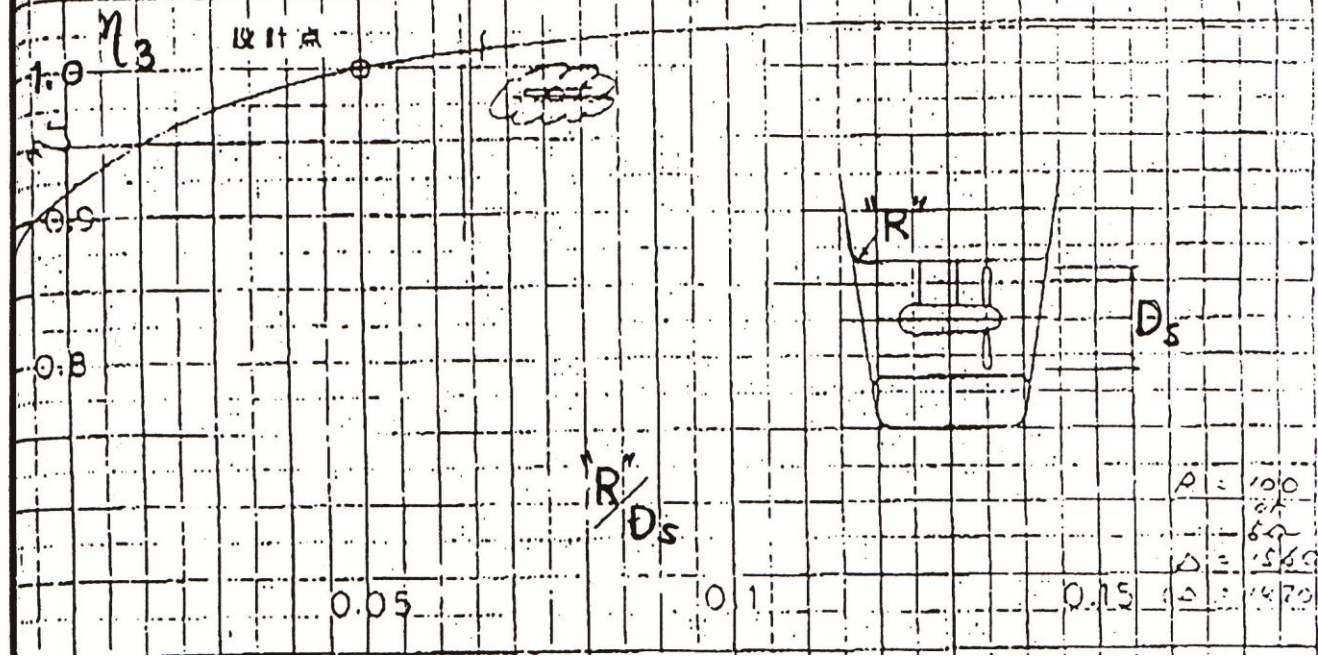
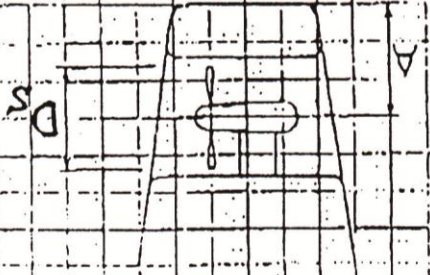
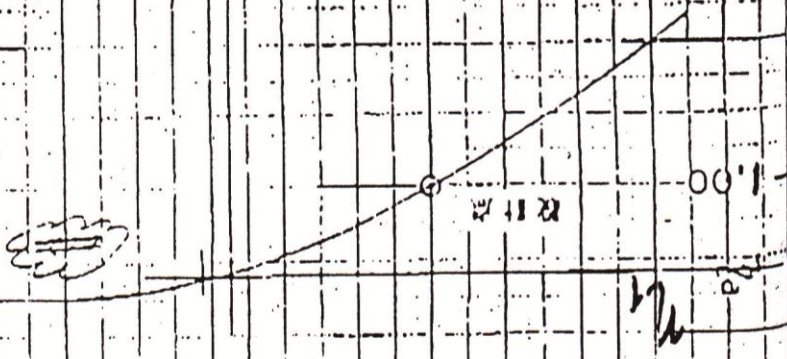


Fig. 3 トンネル入口 R の形



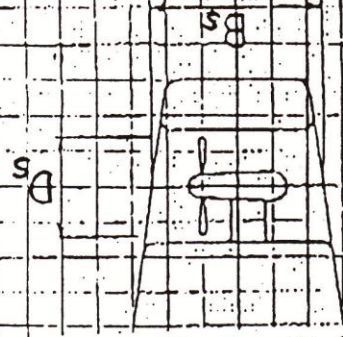
$P = 100$
 $\Delta = 156.5$
 $\Delta = 147.5$

Fig. 1 鋼筋コンクリート梁の設計



$$\begin{aligned} \sigma_c &= 14.70 \\ \sigma_s &= 15.80 \\ \mu &= 2.400 \end{aligned}$$

Fig. 2 トンネル掘きの進捗



設計点

12

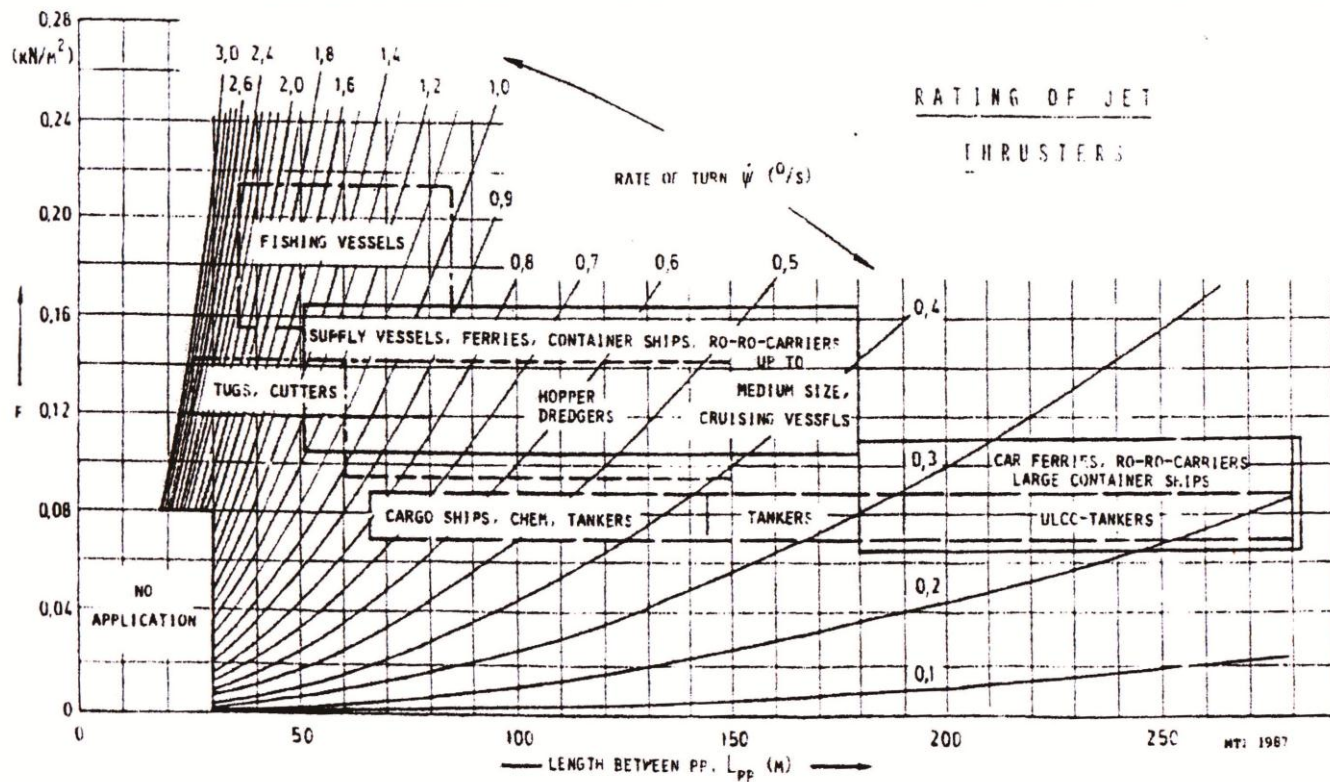
1.00

7b

0.95

$\frac{Bs}{Ds}$

$\frac{Ds}{Bs} = 1.1562$
 $\frac{Bs}{Ds} = 2.2000$



Gambar 4.3 : Diagram desain lateral thruster

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

- Pada kecepatan 5 knot kemampuan maneuver tugboat masih bisa memenuhi persyaratan dari IMO, IMO mensyaratkan bahwa diameter turning circle adalah $4.5 L$ dari kapal, yaitu pada kisaran 128.70 m, sedangkan diameter dari turning circle tugboat yang menggunakan Bow Thruster adalah 118.52 m.
- Dari table diatas dapat disimpulkan bahawa hal-hal yang mempengaruhi kemampuan maneuvering Tug Boat yang menggunakan Bow Thruster adalah kemampuan dari percepatan sudut dari pegoperasian Bow Thruster yang terpasang pada Tug Boat dan Juga kecepatan linear Tug Boat saat pengoperasian Bow Thruster.

5.2 Saran

- Untuk Kebutuhan Manouvering Tugboat dipelabuhan, kapal masih bisa menggunakan Bow Thruster untuk penunjangnya. Karena radius putaran dari Bow Thruster masih sesuai dengan persyaratan dari IMO.
- Untuk pembuatan kapal Tugboat dengan budget yang minim sebaiknya menggunakan Bow Thruster karena harganya lebih murah jika dibandingkan dengan Kapal Tugboat yang Menggunakan System SRP.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Brix j. Capt. Dilp-ing 1993. Manouvering Techinal manual. Seehafen verlag GmbH. Hamburg
- Lewis V. Edward, Priciple Of Naval Archutect, Volume II
- Suryo W., Adji, Engine Propeller Matcing, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Gurning, R.O. Saut, 2006, Aplikasi Pendanaan Kapal, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sv. Aa. Harvald, 1992, Tahanan dan Propulsi Kapal, Airlangga University, Press Surabaya.
- Harringto L. Roy, marine engineering, the society of architechture of marine engineering. New york 1992
- Suparno 1996, “Analisa Tenaga Penggerak System Bow Thruster Pada Kapal United Tanker”. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- www.google.com/ZPellerNiigataPowerSystemsCo..Ltdfi
[les](#) diakses pada tgl 15 Maret 2016
- www.dieselduck.net/Martin'sMarineEngineeringPage
diakses pada tgl 20 Maret 2016
- <https://alvinburhani.wordpress.com/2012/09/14/menghitung-minimum-bollard-pull-requirement/> diakses pada tgl 30 Maret 2016

BIODATA PENULIS



Penulis, **Mochammad Fatchur Rochman** lahir di kota Sidoarjo pada tanggal 25 Juli 1992. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis, memulai pendidikan formal di SMK 2 Krian. Setelah lulus SMK tahun 2011, penulis diterima di Progam Studi Diploma III Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya dan Masuk Sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Pada September 2014, penulis masuk di jurusan Teknik Bangunan Kapal, Program Study Desain dan Konstruksi Kapal. Dan dengan semangat dan kemauan yang tinggi, penulis dapat menempuh pendidikan selama 2 tahun di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ini. Selama 4 semester kuliah disini banyak suka dan duka dalam menjalani proses belajar di ITS. Tapi dengan tulus ikhlas penulis mengucapkan rasa bersyukur kepada Allah SWT, serta terima kasih kepada ayah dan ibu, keluarga, bapak Ir. H. Agoes Santosa, M.Sc., M.Phil. dan Bapak Ir Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT. sebagai pembimbing Tugas Akhir dan bapak ibu dosen yang telah rela dan ikhlas mengajarkan ilmunya kepda kami, dan rekan-rekan. Semoga kedepannya menjadi pengalaman hidup pribadi dan berguna bagi semua orang untuk menjadi yang lebih baik.

“Jangan lihat seberapa tinggi gelar pendidikanmu, tapi lihatlah seberapa banyak ilmu yang berguna bagi masyarakatmu”

Email: mochammadfatchur@gmail.com